

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Návrh ocelové nosné konstrukce obloukového silničního mostu

Structural design of arched road bridge

Študent:

Bc. Ondřej Kvašňovský

Vedúci diplomovej práce:

Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

Ostrava 2018

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ondrej Kvašňovský**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb

Téma: **Návrh ocelové nosné konstrukce obloukového silničního mostu**  
**Structural design of arched road bridge**

Jazyk vypracování: slovenština

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce vypracujte:

1. Nosné obloukové mostní konstrukce – teoretický základ, příklady z praxe, výhody, nevýhody, specifika návrhu těchto konstrukcí.
2. Základní návrh konstrukce mostu - základní dokumentace mostu, příčné uspořádání, místní podmínky, ostatní vstupní parametry, apod.
3. Návrh hlavních nosných částí mostu, statický výpočet dle platných norem.
4. Numerický MKP model mostu, posouzení hlavních nosných částí mostu.
5. Ověření únosnosti vybraných detailů mostu, vytipování možných problematických míst v souvislosti s předpokládaným namáháním konstrukce.
6. Výkresová dokumentace mostu – půdorys, pohled řezy, detaily, výrobní výkres vybraného úseku ocelové konstrukce.
7. Montáž hlavní nosné konstrukce, postup výstavby.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN EN 1992-2 - Eurokód 2: Navrhování železobetonových konstrukcí - Část 2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady
- [2] ČSN EN 1993-2 - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 2: Ocelové mosty
- [3] ČSN EN 1994-2 - Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 2: Obecná pravidla a pravidla pro mosty
- [4] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí. Praha : ČNI, 2004.
- [5] ČSN EN 1991-1-X: Zatížení konstrukcí (příslušné části). Praha : ČNI.
- [6] ČSN EN 1993-1-1: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby. Praha : ČNI, 2006.
- [7] ČSN EN 1993-1-8: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků. Praha : ČNI, 2006.
- [8] "Structural Steel Designer's Handbook" by R. L. Brockenbrough, P.E. & F. S. Merritt, P.E. 3rd edition, Section 14: Arch Bridges by Arthur W. Hedgren, Jr., P.E., Sr. Vice President, HDR Engineering, Inc., Pittsburgh, PA., Published by McGraw-Hill, Inc.
- [9] Sukhen Chatterjee: The Design of Modern Steel Bridges, Second edition, Oxford 2003, ISBN 0-632-05511-1
- [10] Odborné časopisy – Konstrukce, Stavitel, Structural Engineering, Stahlbau
- [11] Internet

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2018

Datum odevzdání: 30.11.2018



---

doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.  
vedoucí katedry



---

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

**Prehlásenie študenta**

Prehlasujem, že som celú diplomovú prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce Ing. Miroslava Rosmanita, Ph.D. a uviedol som všetky použité zdroje a literatúru.

V Ostrave 30.11.2018

.....

podpis študenta



**Prehlasujem, že**

- som bol oboznámený s tým, že na moju diplomovú prácu sa vzťahuje zákon 121/2000 Zb. - autorský zákon, najmä § 35 – použitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a použitie diela školského § 60- školské dielo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo neziskovo pre svoje vnútorné potreby diplomovú prácu použiť (§ 35 odst.3).
- Súhlasím s tým že diplomová práca bude v elektronickej podobe uložená v Ústrednej knižnici VŠB-TUO k nahliadnutiu, a jeden výtlačok bude uložený u vedúceho diplomovej práce. Súhlasím s tým, že údaje o kvalifikačnej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- bolo dojednané, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzatvorím licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bolo dojednané, že použiť svoje dielo – diplomovú prácu alebo poskytnúť licenciu na jej použitie môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takom prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na uhradenie nákladov, ktoré boli VŠB-TUO vynaložené (až do ich skutočnej výšky).
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č.111/198 Zb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave 30.11.2018

.....

podpis študenta

## **Anotácia diplomovej práce**

KVAŠŇOVSKÝ, Ondrej. *Návrh ocelové nosné konštrukcie obloukového silničního mostu*. Ostrava, 2018. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 166 s. Vedúci diplomovej práce Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

Názov témy: Návrh ocelové nosné konštrukcie obloukového silničního mostu

Autor: Bc. Ondrej Kvašňovský

Vedúci práce: Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

Počet strán: 166

Diplomová práca sa zaoberá návrhom a statickým posúdením nosnej ocelevej konštrukcie oblúkového cestného mosta. Pre zistenie odozvy konštrukcie bol vytvorený výpočtový MKP model v programe Midas Civil. Funkčnosť výpočtového modelu bola overená zjednodušenými výpočtami. Po výpočte vnútorných síl boli nosné prvky a spoje posúdené pomocou programov Mathcad, Excel a Scia Engineer. Súčasťou práce je aj návrh a výpočet jednotlivých fáz výstavby. Poslednou časťou práce je vyhotovenie výkresovej dokumentácie.

## **Kľúčové slová**

oceľová konštrukcia, cestný oblúkový most, pohyblivé zaťaženie, stabilita, zaťaženie, vnútorné sily, posudok

## **The Annotation of the Master`s thesis**

The primary objection of this thesis is a design and a structural evaluation of steel structure and joints of arched road bridge. Process of design includes creation of a numerical model which has been developed in Midas Civil software. Functionality of a model was verified by simplified calculations. The final values of internal forces were calculated after load determination and a final bearing capacity of members and joints were calculated using Excel, Mathcad and Scia Engineer software. The computation and design of construction process is also included in this thesis. The final part of this thesis includes design documention and drawings.

## **Key words**

steel structure, arched road bridge, moving load, stability, load, internal forces, design review

# OBSAH

Zoznam použitého značenia.....	10
1 Úvod.....	12
2 Všeobecný Teoretický rozbor .....	13
2.1 Základné druhy a typy mostov [13], [14] .....	13
2.2 Oblúkové mostné konštrukcie [13],[14] .....	15
2.3 Zaťaženie mostov pozemných komunikácií [13] .....	32
2.4 Zásady globálnej analýzy[13].....	43
3 Stavebný objekt a definícia jeho základného pôsobenia.....	50
3.1 Identifikačné údaje .....	51
3.2 Základné údaje o moste .....	51
3.3 Definícia základného pôsobenia konštrukcie .....	52
3.4 Statické pôsobenie pri výstavbe .....	52
3.5 Schematické výkresy konštrukcie .....	54
4 Návrh nosných prvkov podľa jednoduchých modelov .....	57
4.1 Predbežný návrh a posúdenie priečnikov .....	58
4.2 Predbežný návrh a posúdenie oblúkov a pozdĺžnikov.....	61
5 Charakteristika výpočtového modelu (priestorový model s funkciou TDA).....	69
5.1 Základné dáta.....	69
5.2 Geometria modelu .....	70
5.3 Materiál.....	71
5.4 Prierezy .....	71
5.5 Zaťažovacie stavy použité vo výpočtovom modeli .....	71
5.6 Založenie a spodná stavba .....	72
5.7 Oceľová nosná konštrukcia .....	74
5.8 Zaťaženie .....	78
5.9 Skupiny zaťažení .....	89

5.10	Kombinácie zaťažovacích stavov pre posúdenie prvkov.....	90
5.11	Model postupnej výstavby a TDA analýzy.....	94
6	Stabilita konštrukcie.....	101
7	Posúdenie prvkov na MSÚ .....	103
7.1	Vnútorne sily na hlavnej nosnej konštrukcií .....	103
7.2	Posúdenie pozdĺžnikov .....	103
7.3	Posúdenie oblúkov.....	107
7.4	Posúdenie priečnikov.....	113
7.5	Posúdenie závesov .....	115
7.6	Porovnanie výsledkov lineárnej analýzy 2D a 3D modelu.....	116
8	Posúdenie prvkov na MSP .....	118
8.1	Posúdenie napätosti .....	118
8.2	Deformácie mosta.....	121
8.3	Overenie napätosti počas výstavby.....	124
8.4	Vlastné tvary konštrukcie .....	125
8.5	Dilatačné závery .....	129
9	Detaily a únava .....	130
9.1	Prípoj závesu do oblúka.....	130
9.2	Prípoj záves-pozdĺžnik, pozdĺžnik- priečnik .....	136
9.3	Spojenie pozdĺžnika s oblúkom.....	141
9.4	Zvary.....	143
9.5	Únavové namáhanie v spojoch [13] .....	146
9.6	Kvalita materiálu .....	148
10	Mostovková doska.....	151
11	Záver.....	152
	Zoznam obrázkov.....	155
	Zoznam tabuliek.....	162

Zoznam použitých zdrojov .....	163
Zoznam príloh .....	165

---

## ZOZNAM POUŽITÉHO ZNAČENIA

$A$ .....	plocha prierezu [mm <sup>2</sup> ]
$A_{net}$ ...	oslabená plocha prierezu [mm <sup>2</sup> ]
$A_s$ .....	plocha jadra skrutky [mm <sup>2</sup> ]
$A_{v,z}$ ...	plocha steny v šmyku v smere osi $z$ [mm <sup>2</sup> ]
$F$ .....	zaťažovacia sila [kN]
$F_{b,Rd}$ .	odolnosť spojovacieho materiálu v otláčení [kN]
$F_{v,Rd}$ .	odolnosť spojovacieho materiálu v strihu [kN]
$I_y, I_z$ .	moment zotrvačnosti prierezu k osi $y$ a $z$ [mm <sup>4</sup> ]
$I_w$ ....	výsečový moment zotrvačnosti [mm <sup>6</sup> ]
$L$ .....	rozpätie poľa [m]
$L_{LT}$ ...	klopiaca dĺžka pri ohybe [m]
$M_y$ ...	ohybový moment [kNm]
$M_{Ed}$ ..	návrhová hodnota ohybového momentu [kNm]
$M_{cr}$ ..	pružný krit. moment pri strate pričnej a torznej stability [kNm]
$M_{pl,Rd}$	návrhový plastický ohybový moment únosnosti prierezu [kNm]
$N_{Ed}$ ..	návrhová hodnota osovej sily [kN]
$N_{Rd}$ ...	návrhová hodnota únosnosti v ťahu [kN]
$V_{Ed}$ ...	návrhová hodnota posúvajúcej sily [kN]
$V_{Rd}$ ...	návrhová únosnosť vo šmyku [kN]
$W_{pl,y}, W_{pl,z}$	plastický prierezový modul k osi $y$ a $z$ [mm <sup>3</sup> ]
$W_y, W_z$	pružný prierezový modul k osi $y$ a $z$ [mm <sup>3</sup> ]
$d$ .....	priemer skrutky [mm]
$d_o$ ....	priemer otvoru [mm]
$f$ .....	frekvencia [Hz]
$f_y$ .....	medz klzu ocele [MPa]
$f_u$ .....	medza pevnosti ocele [MPa]
$g$ .....	hodnota zaťaženia [kN/m], [kN/m <sup>2</sup> ]
$k$ .....	konštanta tuhosti; [N/mm]
$m$ .....	celková hmotnosť kmitajúcej časti lávky [kg]
$t_f$ .....	hrúbka pásnice prierezu [mm]
$t_w$ .....	hrúbka stojiny prierezu [mm]

---

$\gamma_{M0}$  .. číastkový súčiniteľ únosnosti prierezu ľubovoľnej triedy

$\gamma_{M2}$  ... číastkový súčiniteľ únosnosti prierezu

$\lambda$ ..... štíhlosť

$\bar{\lambda}$ ..... pomerná štíhlosť

$\mu_{cr}$  ..... bezrozmerný kritický moment

$\chi_{LT}$  .... súčiniteľ klopenia

$\omega$  ..... vlastná kruhová frekvencia



---

# 1 ÚVOD

Obsahom tejto diplomovej práce je prehĺbenie znalostí navrhovania nosných konštrukcií oceľových mostov podľa Eurokódov a prehĺbenie znalostí modelovania v softvéri využívajúcom MKP.

Na začiatku práce bol spravený rozbor konštrukčných systémov oblúkových mostov.

Po teoretickom opise konštrukčných systémov autor vybral konkrétnu konštrukciu oblúkového mosta, ktorú detailnejšie spracoval. Po základnom definovaní konštrukcie boli určené hodnoty zaťaženia na danú konštrukciu. Keďže ide o most najviac rozoberaným zaťažením bolo práve pohyblivé zaťaženie.

Po definovaní zaťaženia boli navrhnuté predbežné profily nosných prvkov. Bol vytvorený výpočtový model v programe Midas Civil a správnosť modelu bola overená porovnaním hodnôt medzi jednoduchým 2D modelom a priestorovým 3D modelom.

Po vyladení výpočtového modelu bol vybraný spôsob globálnej analýzy konštrukcie a následne boli spočítané vnútorné sily a deformácie. Tiež bol prevedený podrobný statický posudok nosných prvkov mosta, ako aj návrh a posudok spojov.

Z medzného stavu použiteľnosti bolo spracované overenie napätosti v prevádzkovom stave ale aj pri výstavbe, modálna analýza a kontrola deformácií konštrukcie.

Poslednou súčasťou práce je vypracovanie časti výkresovej dokumentácie pre projekt.

## 2 VŠEOBECNÝ TEORETICKÝ ROZBOR

Od nepamäti slúžili mosty ku skracovaniu vzdialeností a prekonávaní rôznych prekážok ako napríklad údolí, riek a jazier. Dnešné mostné stavitel'stvo je prehliadkou schopností inžinierov realizovať zložité a pritom architektonicky úchvatné stavby, ktoré ohromujú oko každého pozorovateľa. Mosty bývajú obvykle dominantou blízkeho okolia, a preto musí byť pre vhodné začlenenie diela do odolného terénu patrná spolupráca architektov, projektantov a v neposlednej rade aj statikov.

Mosty, ich výstavba a rekonštrukcie sú významnou časťou dopravného stavitel'stva. Ide o technologicky náročné stavebné diela, pri ktorých realizácii spolupracuje viacero profesií. Preto sú mostné konštrukcie radené medzi vrcholné stavby súčasného stavebného inžinierstva. Netreba dodávať, že pri výstavbe mostov je kladený obrovský dôraz na celkovú bezpečnosť finálneho diela.

### 2.1 Základné druhy a typy mostov [13], [14]

Mostné konštrukcie sa delia na mosty:

- mosty cestných komunikácií (diaľničné, cesty I, II, III triedy...),
- mosty dráhových komunikácií (železničné, električkové, metro),
- združené (pre cestnú aj železničnú dopravu),
- lávky pre peších,
- priemyselné mosty,
- zvláštne (prieplavné, vodovodné, potrubné, akvadukty).

Podľa meniteľnosti základnej polohy:

- nepohyblivé,
- pohyblivé (klopne, otočné, posuvné, zdvíhacie),
- plávajúce (pontónové, loďové, člnové, plťové, plavákové).

Podľa plánovanej životnosti :

- trvalé (životnosť 100 rokov),
- dočasné ( 5 aj viac rokov),
- provizórne (rozoberateľné s životnosťou menšou ako pri dočasných).

---

Podľa účelu voľného priestoru pod mostom:

- priepustky,
- mosty nad inou komunikáciou,
- riečne mosty,
- inundačné mosty,
- viadukty, estakády.

Podľa statickej funkcie:

- doskové,
- trémové,
- rámové,
- **oblúkové,**
- klenbové,
- visuté,
- zavesené.

Podľa pôdorysného usporiadania:

- kolmé,
- šikmé.

Podľa prevádzanej komunikácie:

- priame,
- v oblúku.

Podľa polohy mostovky vzhľadom k hlavným nosníkom:

- s hornou mostovkou,
- s medziľahlou mostovkou,
- so zapustenou mostovkou,
- s dolnou mostovkou,
- so zavesenou mostovkou,
- so vzoprenou mostovkou,
- bez mostovky.

Pre správne pochopenie navrhovania mostného objektu ako celku je nutné rozobrať si objekt na jednotlivé časti. Dispozičné usporiadanie mostného objektu je základným východiskovým podkladom pri jeho návrhu. Zosúladí sa konštrukčné riešenie jednotlivých častí mosta s požiadavkami na priestorové usporiadanie prevádzanej komunikácie na moste, resp. premostovanej prekážky pod mostom. Splnenie všetkých požiadaviek si vyžaduje dostatočné znalosti všetkých parciálnych častí, ktoré potom správne zostavené dávajú optimálne dispozičné riešenie. Vytvorený priestorový celok je možné rozdeliť z hľadiska primárnych funkcií na niekoľko častí:

- spodná stavba (základy, podpery, záverné múry, mostné krídla, a pod.),
- nosná konštrukcia (hlavná nosná konštrukcia, mostovka, stuženie, ložiská, mostné závery),
- mostný zvršok (železničný, cestný),
- mostné vybavenie (zábradlie, zvodidlá, odvodňovacie zariadenia, zábrany, osvetľovacie zariadenia, revízne zariadenia a pod.),
- pridružené diela (prechodové dosky, kamenné obloženia a pod.).

Dominantnou časťou, ktorá určuje celkový charakter mostného objektu, je nosná konštrukcia mosta. To však neznižuje význam ostatných častí, s ktorými je nosná konštrukcia previazaná, a ktoré väčšou alebo menšou mierou ovplyvňujú jej funkčnosť aj dispozíciu. V rámci diplomovej práce má byť autorom spracovaný rozbor oblúkových nosných konštrukcií, preto sa ostatnými časťami mostného objektu autor nezaobrá.

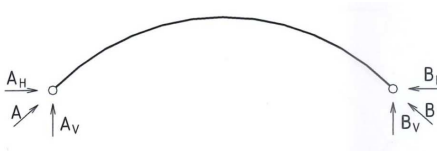
## 2.2 Oblúkové mostné konštrukcie [13],[14]

Oblúkové mosty sa používajú v rôznych tvaroch a rôznych statických sústavách ako mosty s hornou, medziľahlou a dolnou mostovkou. Oblúková konštrukcia sa tvarom svojej strednice približuje možnej výslednicovej čiare, ktorá odpovedá pôsobeniu vonkajšieho zaťaženia. Je to preto veľmi logický tvar konštrukcie. Vďaka tejto podobnosti strednice s výslednicovou čiarou, sú ohybové momenty v oblúku pomerne malé na rozdiel napríklad od rámových konštrukcií. Ďalším nemalým faktorom pri voľbe oblúkovej konštrukcie je ich architektonický príjemný vzhľad. Pri dobrej koncepcii sú jednotlivé prvky oblúka relatívne štíhle a mostný objekt často pôsobí ako prirodzená súčasť územia.

## 2.2.1 Delenie oblúkových konštrukcií

### Podľa smeru podporových tlakov:

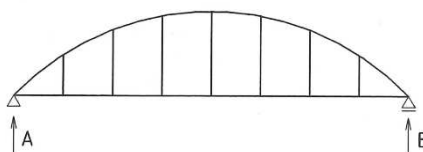
- a) Právě oblúky (obecne šikmé podporové tlaky)



Obr. 2.1: Statická schéma pravého oblúka[13]

Pri pravých oblúkoch výsledná tlaková reakcia pôsobí v smere strednice oblúka. Šikmé zložky teda rozkladáme do zvislých zložiek A, B a vodorovných zložiek  $H_A$  a  $H_B$ .

- b) Nepravé oblúky (zvislé podporové tlaky)



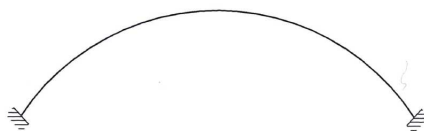
Obr. 2.2: Statická schéma nepravého oblúka[14]

Pri pôsobení nepravého oblúka (oblúky s ťahlom,) je vodorovná zložka reakcie zachytená ťahadlom. Spodnú stavbu teda zaťažuje iba zvislá zložka reakcie. Výhodou je jednoduchšie zakladanie na úkor mohutnejšej mostovky, ktorá musí preniesť ťahovú silu.

### Podľa stupňa statickej neurčitosti:

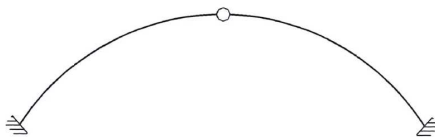
- a) Votknuté oblúky sú 3x staticky neurčité konštrukcie. Pri dobrých vlastnostiach základovej pôdy sú ideálnym riešením pre mosty väčších rozpätí. Pri použití tohto druhu oblúka sa konštruuje horná resp. medziľahlá mostovka. Nevýhodou je vyššie namáhanie prierezu oblúka zmenami teploty a nutnosť kotvenia konca oblúka do základovej pätky. Votknutie oblúka však znižuje ohybové momenty a tým aj priehyby čo sa priaznivo prejavuje pri výpočte podľa teórie II. rádu, kedy vysoká tuhosť oblúka zabezpečuje vybočenie oblúka z roviny. Pre malé a stredné rozpätia sa teda navrhujú prevažne pri betónových mostoch,

pre ich jednoduchšie votknutie do opery . Pri oceľových mostoch sa uplatnia štíhle konštrukcie votknutých oblúkov až pri veľkých rozpätiach.



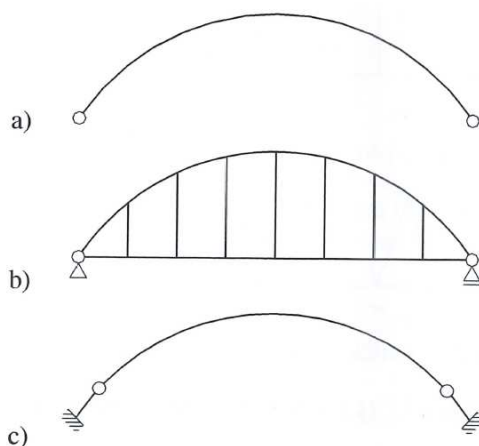
Obr. 2.3: Statická schéma votknutého oblúka [13]

- b) Oblúky s jedným kĺbom sú 2x staticky neurčité konštrukcie. Ide o vložený stredový kĺb do votknutého oblúka. V praxi sa uplatňujú zriedkavo, pretože konštrukcia kĺbu prekáža vozovke ale často sa s týmto systémom stretneme ako s montážnym stavom.



Obr. 2.4: Statická schéma oblúka s jedným kĺbom [13]

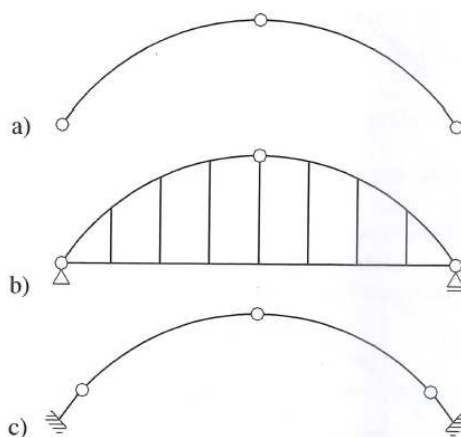
- c) Dvojkĺbové oblúky sú 1x staticky neurčité, používané vo variantách bez alebo s ťahadlom. Výhodou je jednoduchšia realizácia kĺbu v päte oblúka oproti variante votkutej, avšak používa sa aj variant kedy je kĺb vyložený na votknutých konzolách.



Obr. 2.5: Statická schéma dvojkĺbového oblúka [13]

a) bez ťahadla; b) s ťahadlom; c) s vyloženými konzolami

- d) Trojkříbové oblúky sú staticky určité konštrukcie. Výhodou je, že napätie v ich prierezoch nezávisí od zmeny teploty ani od popustenia, pootočenía alebo naklonenia základu. Preto sa veľké oblúkové konštrukcie dvojkríbové alebo votknuté montujú ako staticky určité konštrukcie trojkříbové, pri ktorých popustenie nevyvolá žiadne poddružné napätia a dajú sa ľahšie rektifikovať. Po ukončení montáže sa provízorne kĺby uzatvoria. Nevýhodou trojkříbových oblúkov je zložitá zavetrovanie, nutné prerušenie vozovky nad kĺbom a hlavne veľké priehyby, z ktorých pri štíhlych konštrukciách vznikajú veľké prírastky ohybových momentov (teória II. rádu). Pri trojkříbovom oblúku vznikajú až šesťnásobne väčšie deformácie v porovnaní s votknutými oblúkmi. Pre ich statickú určitosť sa však používajú pre mosty menších rozpätí pri zlých základových podmienkach a územiach s baníckou aktivitou.

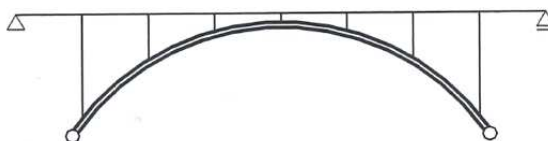


Obr. 2.6: Statická schéma trojkříbového oblúka [13]

a) bez ťahadla; b) s ťahadlom; c) s vyloženými konzolami

#### Podľa tuhosti oblúku a trámu mostovky:

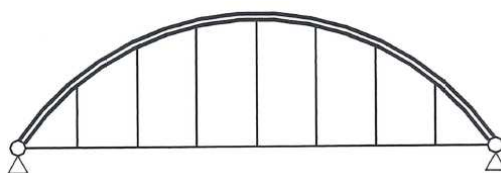
- a) Tuhý oblúk – najčastejšie s hornou mostovkou, tuhosť trámu mostovky je zanedbateľná vzhľadom k tuhosti oblúku. Navrhuje sa ako votknutý, dvojkríbový prípadne trojkříbový s hornou alebo medziľahlou mostovkou kedy je trám na oblúku podoprený kyvnými stojkami.



Obr. 2.7: Tuhý oblúk s hornou mostovkou [13]

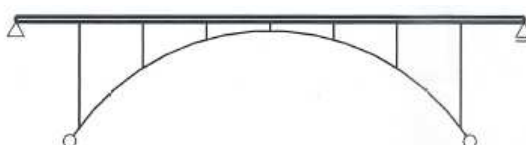


- b) Tuhý oblúk s ťahadlom – používaný na mosty s dolnou mostovkou kedy funkciu ťahadla plní samotná mostovka ktorá môže byť aj predpätá. V niektorých prípadoch preberá funkciu ťahadla externe vedený kábel.



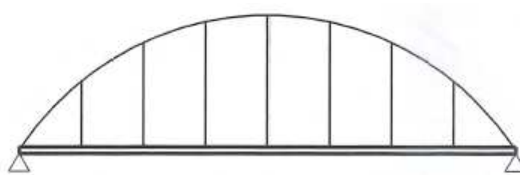
Obr. 2.8: Tuhý oblúk s ťahadlom [13]

- c) Netuhý oblúk vystužený tuhým trámom – ohybové momenty preberá trám, ktorý plní zároveň aj funkciu mostovky. Oblúk má v porovnaní s trámom veľmi malú tuhosť a tvoria ho štíhle prúty prenášajúce iba osové sily.



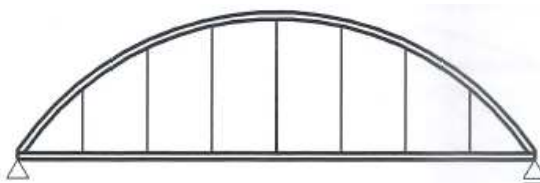
Obr. 2.9: Oblúk s vystuženým tuhým trámom [13]

- d) Tuhý trám vystužený netuhým oblúkom – trám prenáša ohybové momenty a navyše aj vodorovnú zložku oblúkovej sily. Ide o najrozšírenejšie používanú oblúkovú konštrukciu na Slovensku aj v Čechách. Rovinný model Langerovho trámu je jedenkrát staticky neurčitý systém. Pre zmenšenie priehybu a ohybových momentov sa často navrhujú prídavné výstužné diagonály.



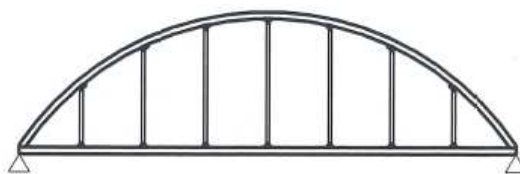
Obr. 2.10: Tuhý trám vystužený oblúkom (Langerov trám) [13]

- e) Tuhý oblúk s tuhým trámom a netuhými zvislicami – ide o  $n+3$  krát staticky neurčitú konštrukciu, kde „ $n$ “ je počet zvislíc. Ohybové momenty sú prenášané trámom aj oblúkom kedy sú ich vzájomné tuhosti porovnateľné.



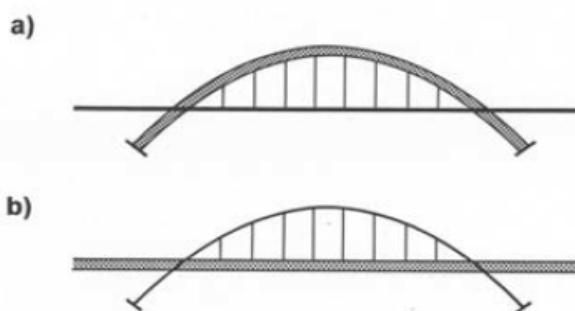
Obr. 2.11: Tuhý trám s tuhým oblúkom a netuhými zvislicami [13]

- f) Tuhý oblúk s tuhým trámom a tuhými zvislicami – vzniká pri náhrade netuhých zvislíc v predchádzajúcej schéme tuhými. Vznikne tak mnohonásobne staticky neurčitá konštrukcia.



Obr. 2.12: Tuhý oblúk s tuhým trámom a tuhými zvislicami [13]

Obecne teda môžeme konštatovať že pri oblúkových konštrukciách závisí ohybové namáhanie mostovky a oblúku na pomere ich tuhostí. Tuhý oblúk teda môže byť navrhnutý s ohybovo mäkkou mostovkou (Obr. 2.13a) a naopak štíhli oblúk vyžaduje ohybovo tuhú mostovku (Obr. 2.13b).



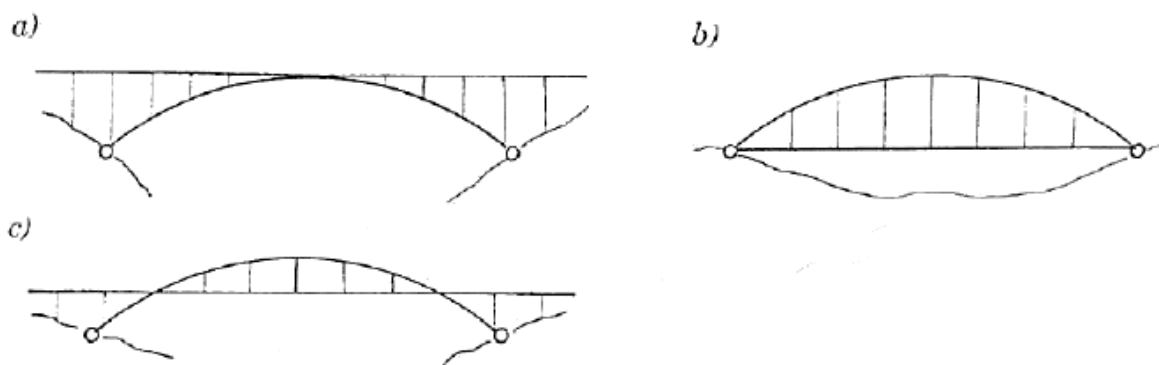
Obr. 2.13: Pomer tuhosti oblúkovej konštrukcie [14]

#### Podľa polohy mostovky:

- a) S hornou mostovkou (Obr. 2.14a) – vhodné pre premostenie hlbokých údolí, kedy sa tento druh konštrukcie najviac esteticky hodí. Ďalšími výhodami sú otvorený výhľad z mostovky mosta a čiastočná ochrana oblúka mostu

mostovkou ako aj vylúčenie priameho nárazu vozidla do nosnej časti konštrukcie.

- b) S dolnou mostovkou (Obr. 2.14b) – vhodné pre ploché územia v prípade malej stavebnej výšky. Chodníky na moste sa môžu navrhnuť vyložené na konzolách mimo priestoru medzi oblúkmi, čím zmenšíme osovú vzdialenosť oblúkov a zhospodárnime návrh.
- c) S medzil'ahlou mostovkou (Obr. 2.14c) – Najprívetivejšie architektonické pôsobenie pri návrhu výšky oblúka nad mostovkou aspoň 1/12 rozpätia oblúku. Nevýhodou je komplikovanejšie riešenie prechodu oblúka mostovkou.

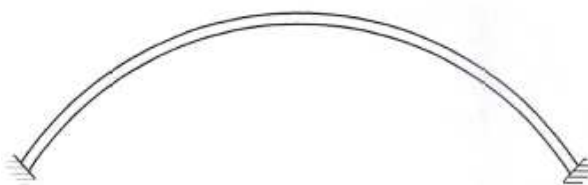


Obr. 2.14: oblúky podľa polohy mostovky [14]

### Podľa tvaru oblúku:

Rozmanitosť tvaru oblúka či už ide o plnostenný alebo priehradový oblúk je veľká. Všeobecne oblúky podľa tvaru delíme na :

- a) Oblúky s rovnobežnými pásmi – za tvar strednice oblúku volíme parabolu, kružnicu, elipsu alebo inú krivku. Tieto oblúky sú z výrobného hľadiska najjednoduchším konštrukčným riešením.



Obr. 2.15: Oblúk s rovnobežnými pásmi [13]

- b) Oblúky kosákovitého tvaru – majú najnižšiu časť v mieste uloženia a maximálnu výšku v strede oblúka. Návrh z estetických dôvodov.



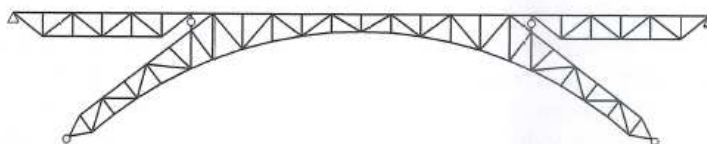
Obr. 2.16: Oblúk kosákovitého tvaru [13]

- c) Oblúky s výškou zväčšujúcou sa smerom k päťám – rôznobežné pásy sa smerom k podporám rozbiehajú. Používané pri votknutých oblúkoch kedy je výhodné rozšíriť oblúk pre jednoduchšie votknutie. S narastajúcim kvadratickým momentom plochy však narastá aj ohybový moment vo votknutí.



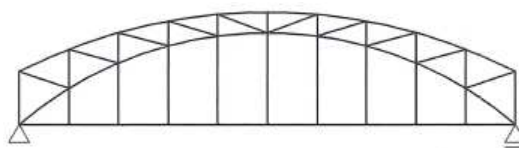
Obr. 2.17: Oblúk so zvyšujúcou sa výškou smerom k päťkám [13]

- d) Oblúky s lomeným horným pásom sa navrhujú výnimočne napríklad pri lávkach pre peších, kde oblúk tvorí aj nosník mostovky.



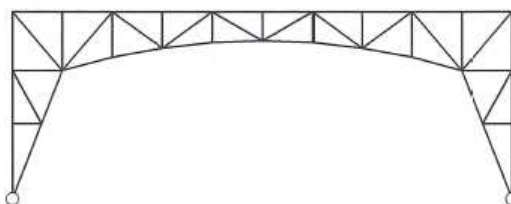
Obr. 2.18: Priehradový oblúk s lomeným horným pásom [13]

- e) Oblúky s vystuženými hornými cípmi sa v minulosti navrhovali pre oblúkové mosty s priehradovými dvoj alebo trojkľbovými oblúkmi. Zo statického hľadiska má význam rozšírenia koncov do cípov pri mostoch s dolnou alebo medziľahlou mostovkou. Horný pás priehradového oblúka sa potom nachádza nad priečnym prierezom na moste. Je teda možné vytvoriť nadmostovkové stuženie oblúkov po celej dĺžke mosta.



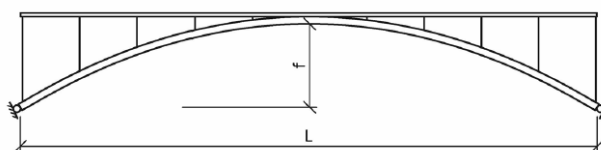
Obr. 2.19: Oblúk s vystuženými cípmi [13]

- f) Rámové konštrukcie oceľových mostov sa v súčasnosti v podstate nenavrhujú. V minulosti boli navrhované ako dvojklbové konštrukcie. Prvotné priehradové rámové konštrukcie neskôr nahradili plnostenné rámy.



Obr. 2.20: Dvojklbový priehradový rám [13]

Oblúkové hlavné nosníky sa častejšie používajú pre mosty veľkých rozpätí. Oblúkové konštrukcie pôsobia priaznivým estetickým dojmom a vo svojej klasickej podobe (tzv. pravé oblúky) sú vhodné predovšetkým na premostenie veľkých, hlbokých údolí, poskytujúcich dostatočný priestor medzi niveletou prevádzanej komunikácie a dnom údolia, prípadne najvyššou vodnou hladinou. Základnými parametrami popisujúcimi tvar oblúku je rozpätie a vzopätie oblúku, optimálne  $(1/10 \div 1/5)L$ . Vzopätie je dané zvislou vzdialenosťou vrcholu oblúku od spojnice podpierajúcich bodov (Obr. 2.21).



Obr. 2.21: Vzopätie dvojklbového oblúku [13]

Voľba tvaru strednice pri oceľových mostoch nie je až tak podstatná ako pri mostoch betónových kde je snaha eliminovať ohybové momenty aby boli prierezy namáhané takmer výlučne centrickým tlakom. Oblúkové mosty sa používajú pre premostenie otvorov o jednom poli ale aj pre premostenie viacerých otvorov.

**Rozpätie oblúkových mostov  $L$**  sa obecné berie medzi 100 až 300m pritom pre:

- Betónové mosty –  $L$  medzi 70 až 200 m, pre malé rozpätia je oblúk nevhodný preto najčastejšie rozpätie  $L = 200$  až 300m, existujú však aj oblúkové mosty pre rozpätie 400 m.
- Oceľové mosty –  $L$  medzi 60 až 300 m, priehradové oblúky až pre rozpätia 500 m

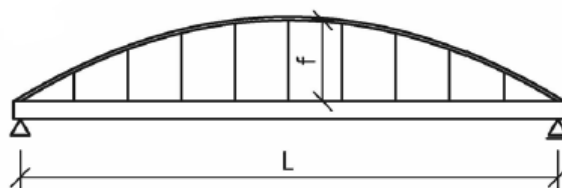
**Vzopätie oblúkov  $f$ :** tvar a výšku oblúku charakterizuje pomer vzopätia a rozpätia oblúku  $f/L$

Betónové mosty –  $f/L = 1$  až  $1/15$

- votknuté oblúky – optimálne  $f/L = 1/3$  až  $1/5$
- dvojklbové oblúky – optimálne  $f/L = 1/d$  až  $1/8$
- trojklbové oblúky – optimálne  $f/L = 1/7$  až  $1/10$ , prípadne až  $1/15$

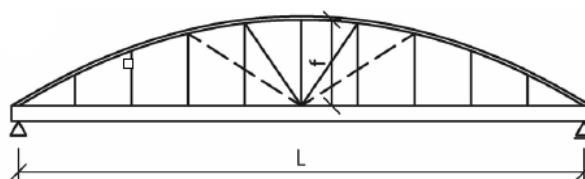
Oceľové mosty –  $f/L = 1/5$  až  $1/10$ , optimálne  $f/L = 1/6$  až  $1/7$

Nevýhodou oblúkových hlavných nosníkov sú vyššie náklady na podstatne náročnejšiu výrobu a montáž nosnej konštrukcie, ako aj na spodnú stavbu, ktorá si nie nevyhnutne vyžaduje dobré základové podmienky. Väčšie uplatnenie nachádzajú práve nepravé oblúky, u ktorých vodorovnú zložku sily v oblúku prenáša ťahadlo. Z nich sa najviac využíva tuhý trám vystužený voľným oblúkom (tzv. Langerov trám), (Obr. 2.12d,e), (Obr. 2.22).



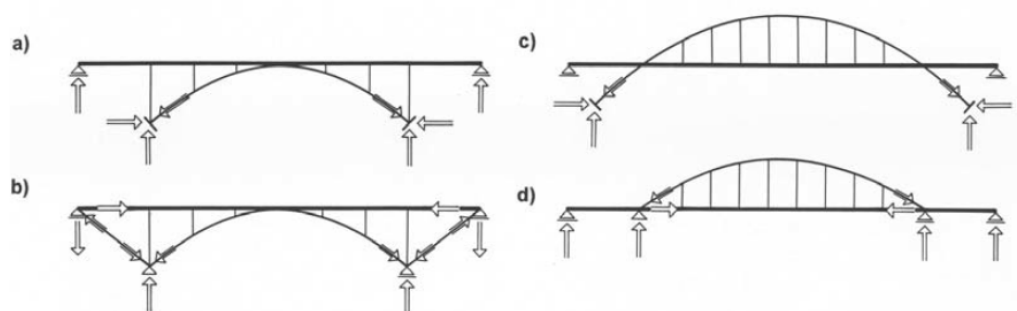
Obr. 2.22: Tuhý trám vystužený voľným oblúkom [13]

Rozsah rozpätí je od 60 do 120 m, pri vzopätí oblúku  $(1/8 \div 1/6) \cdot L$ . Pri väčších rozpätiach sa oblúk so zvislicami upraví pridaním diagonál (Obr. 2.23).



Obr. 2.23: Tuhý trám vystužený voľným oblúkom s diagonálami [13]

Pri klasických oblúkových konštrukciách je mostovka podoprená (Obr. 2.24a) alebo zavesená (Obr. 2.24c) na oblúkovej konštrukcii založenej v únosnej základovej špáre schopnej preniesť veľkú oblúkovú silu. Oblúkové konštrukcie však tiež môžu vytvárať samo kotvený systém, v ktorom je základová pôda namáhaná iba zvislými reakciami. Na (Obr. 2.24b) je vykreslená konštrukcia, pri ktorej je päta oblúku spojená s mostovkou tlačnou vzperou prenášajúcou horizontálnu zložku oblúkovej sily do mostovky. Tá je potom namáhaná ťahovou silou. Na (Obr. 2.24d) je Langerov trám kde mostovka do ktorej je votknutý oblúk, prenáša vodorovnú silu svojou ťahovou únosnosťou.



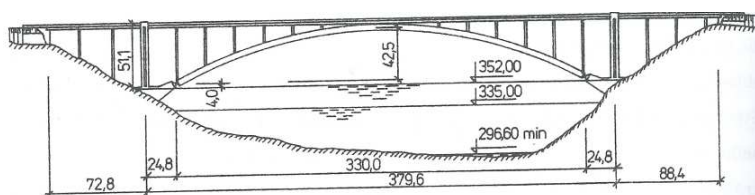
Obr. 2.24: Typy oblúkových konštrukcií: a) oblúk s hornou mostovkou, b) samokotvený oblúk s hornou mostovkou, c) oblúk s dolnou mostovkou, d) samokotvený oblúk s dolnou mostovkou

[14]

## 2.2.2 Dispozičné usporiadanie a stuženie oblúkových mostov

V súčasnej dobe prevládajú oceľové oblúkové mosty o jednom poli. Konštrukcie o viacerých poliach sa častejšie používali v minulosti. Dnes sa v prípade väčšieho počtu polí volí variant spojitého trámového mostu.

Oceľové oblúkové mosty o jednom poli s hornou mostovkou sa v priečnom smere navrhujú prevažne s dvoma tuhými dvojkľbovými oblúkmi. Typickým príkladom je napríklad Žďákovský most cez rieku Vltavu ktorý bol postavený v roku. 1967.

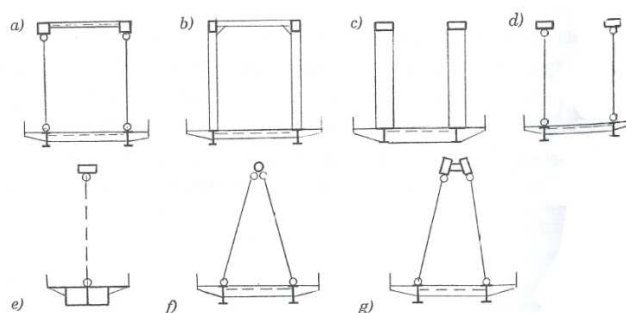


Obr. 2.25: Plnostenný oblúkový most v Žďákově [14]



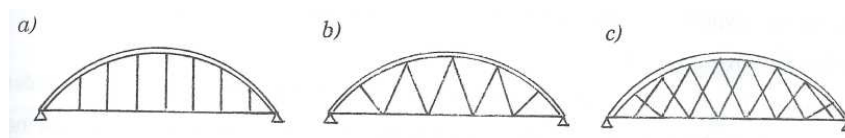
Oblúkové mosty s dolnou mostovkou malých a stredných rozpätí navrhované v plochom teréne (kedy je k dispozícii malá stavebná výška) sa najčastejšie navrhujú ako Langerové trámy. Prevažne ide o plnostenné prevedenie bez výstužných diagonál (Obr. 2.22).

Hlavné oblúkové nosníky môžu byť umiestnené buď vo zvislých alebo šikmých rovinách (Obr. 2.26). V prípade že sú oblúky v šikmých vzájomne priklonených rovinách, môžu sa vo vrchole oba pásy pretínať (Obr. 2.26f) alebo sa môžu približovať (Obr. 2.26g) a ich prepojenie sa zhotoví krátkym masívnym prútom. Druhé riešenie je konštrukčne výhodnejšie.



Obr. 2.26: Priečne rezy oblúkových mostov [14]

Oblúkové mosty s dolnou mostovkou s tuhým oblúkom majú trám mostovky zavesený na oblúku pomocou ťahadiel, ktoré môžu byť zvislé (Obr. 2.27a), šikmé (Obr. 2.27b) alebo vzájomne sa križujúce (Obr. 2.27c). Šikmé a križujúce ťahadlá zlepšujú dynamickú odozvu oblúku a pôsobia esteticky príjemne. Ťahadlá sú väčšinou zhotovené z lán, u menších oblúkov môžeme použiť trubky zakončené napríklad čapmi.

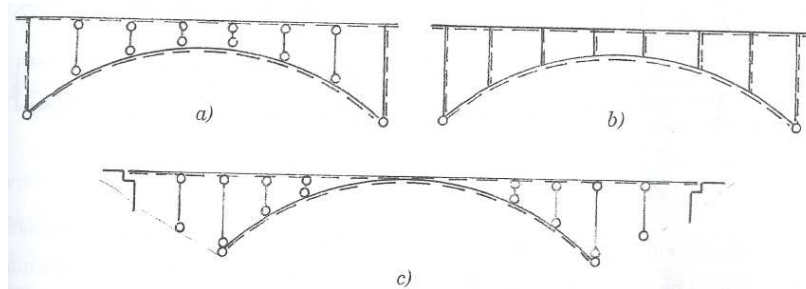


Obr. 2.27: Tvary ťahadiel [14]

### 2.2.3 Stúženie oblúkových mostných konštrukcií

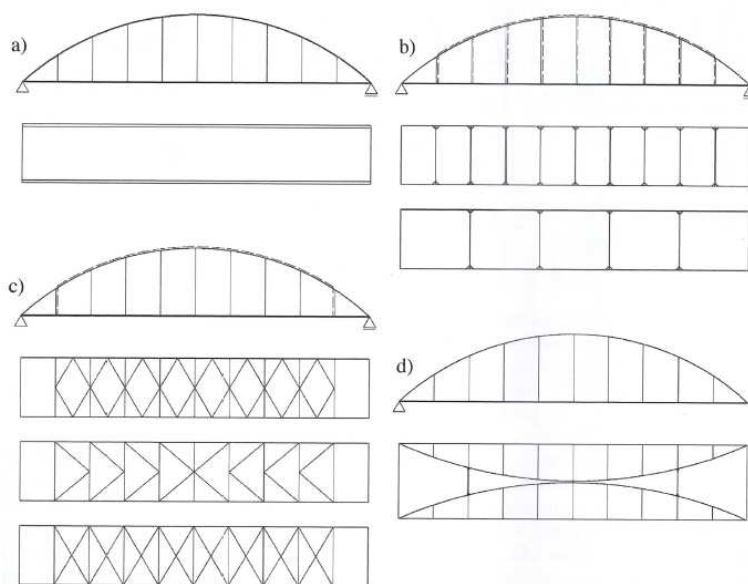
Dôležitou súčasťou všetkých typov oblúkových mostov je pozdĺžne stuženie. Pri oblúkových mostoch s hornou mostovkou sa väčšinou navrhujú dve pozdĺžne stužidlá. Prvé sa umiestňuje v úrovni hornej mostovky a druhé medzi oblúky. Stúženie v úrovni mostovky

môže byť podoprené buď priečnymi zvislými stuženiami umiestnenými nad uložením oblúku (Obr. 2.28a) alebo priečnymi stuženiami v rovinách všetkých stojok (Obr. 2.28b). Najčastejšie sa stuženie podoprie na operách a vo vrchole oblúku v mieste spojenia trámu s vrcholom oblúku (Obr. 2.28c).



Obr. 2.28: Stuženie oblúkových mostov s hornou mostovkou [14]

Pre zaistenie oblúku proti vybočeniu sa pri oblúkových mostoch s dolnou mostovkou používa priehradové stuženie v tvare rombickej sústavy (Obr. 2.29c1), polpriečkovej sústavy (Obr. 2.29c2) alebo násobnej sústavy (Obr. 2.29c3). Ďalší variant je rámové stuženie v tvare Vierendelovho nosníku spolu s uzatvorenými rámami v rovinách zvislíc (Obr. 2.29b) pre zaistenie oblúku proti vybočeniu z roviny. Oblúkové nosníky sa dajú o seba aj vzájomne oprieť (Obr. 2.29d), poprípade môžeme jednotlivé spôsoby zaistenia tuhosti kombinovať. Pozdĺžne stuženie mostovky je však nutné vo všetkých prípadoch.

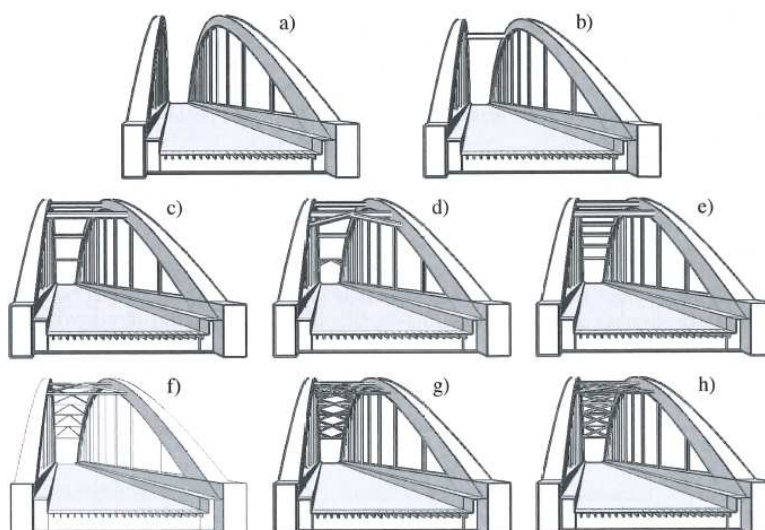


Obr. 2.29: Stuženie oblúkových mostov s hornou mostovkou [13]

a) bez stuženia; b) rámové stuženie; c) priehradové stuženie; d) opreté oblúky + rámová priečka

Vo všeobecnosti sú účinnnejšie priehradové stuženia, v závislosti od pomerov medzi vzdialenosťou zvislíc a šírkou mosta. Rámové stuženie sa navrhuje z estetických dôvodov najmä pri mostoch pozemných komunikácií alebo pri mostoch s vyššími architektonickými nárokmi. Malý rozdiel medzi efektívnosťou priehradového a rámového stuženia uplatníme pri úzkych mostoch.

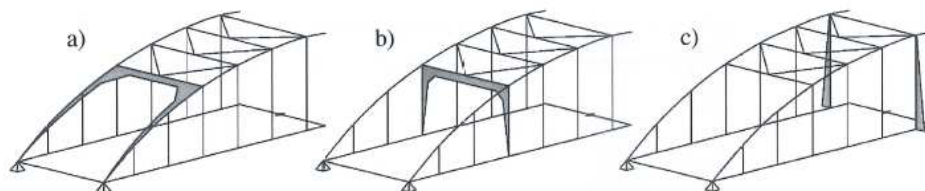
Stabilita oblúka v smere kolmom na jeho rovinu výrazne napomáha aj tuhosť prípoja oblúka na trám. Ak sa navrhne komorový prierez trámu, je votknutie v päte oblúka pre vodorovný ohyb výrazným stabilizačným prvkom, samozrejme s dopadom na zvýšené momenty  $M_z$  z roviny oblúka a trámu. Na (Obr. 2.30) je porovnanie vizuálneho pôsobenia rôznych spôsobov stužení.



Obr. 2.30: Vizuálne pôsobenie stuženia : a) oblúky bez stuženia; b) rámové stuženie uprostred; c) rámové stuženie pri každom druhom zavesení; d) obmena stuženia z prípadu c) doplnená o zosilnenie portálu šikmými diagonálami; e) rámové stuženie pri každom zavesení; f) priehradové stuženie-polpričková sústava; g) priehradové stuženie-rombická sústava; h) priehradové stuženie-násobná sústava [13]

Účinky priečneho zaťaženia sa prenášajú zo stuženia do trámov (prípád Langerovho nosníka) pomocou tzv. vetrových portálov. Pri klasickej koncepcii Langerovho trámu s prierezmi tvaru I sa vytvára zvislý vetrový portál zosilnený zvislicami a priečkou stužidla v tomto mieste (Obr. 2.31b). Šikmý vetrový portál vznikne realizáciou zosilnenia rámových rohov pri portálovej priečke stuženia v rovine oblúka (Obr. 2.31a). Využitie pôsobenia šikmého portálu v dnešnej dobe automaticky zohľadňované vo výpočte stability oblúka, preto

sa stále častejšie od tuhých zvislíc upúšť'a, pokiaľ netvorí niektorá (napríklad stredná) výrazný architektonický prvok (Obr. 2.31c). Konštrukcie s prvkovými mostovkami sú doplnené aj pozdĺžnym podmostovkovým stužením. Využívajú sa rovnaké prierezy a usporiadania ako pri plnostenných trámových mostoch.



Obr. 2.31: Vetrové portály Langerových trávov [13]

## 2.2.4 Príklady realizácií oblúkových mostov

Najväčší nárast oblúkových mostov je momentálne na Ázijskom kontinente, hlavne v Číne, kde pomocou oblúkových mostov preklenujú veľké vodné toky. V súčasnosti je 34 z 55 najväčších mostov postavených v Číne z toho sa iba jediný most z tohto zoznamu nachádza v Českej republike. (Žďákovský most). Bežné sú rozpätia polí od 300 do 500 m. Najväčším oblúkovým mostom na svete je momentálne most Chaotianmen cez rieku Yangtze (Obr. 2.32) postavený v roku 2009. Je to oblúkový most s priehradovým hlavným nosníkom a medzil'ahlou mostovkou, ktorý slúži pre cestnú aj železničnú premávku. Celková dĺžka mosta je 1 741 m, rozpätie hlavného poľa je 552 m a výška oblúka vo vrchole meraná od hladiny rieky je 142 m.



Obr. 2.32: Most Chaotianmen cez rieku Yangtze [25]

Rozpětím největším oblúčovým mostom s plným oblúkom je most Lupu v Shanghai (Obr. 2.33). Jeho celková dĺžka je 3 900 m a jeho hlavné pole má rozpätie 550 m. Na moste je šesť dopravných pruhov a dva chodníky pre peších. Most bol postavený v roku 2003 a získal niekoľko ocenení na odborných sympóziách.



*Obr. 2.33: Most Lupu v Shanghai [25]*

Príkladom pravého oblúka je most ponad rieku George v Apalačských horách (Obr. 2.34). Ten bol postavený už v roku 1977 a bol dlho najdlhším mostom s jednopoložným nosníkom. Cesta po moste vedie 267 m nad prekonávanou riekou a denne po ňom prejde viac ako 16 000 vozidiel.



*Obr. 2.34: Most ponad rieku George [25]*

Pravdepodobne najznámejším oblúčovým mostom je most v prístave Sydney (Obr. 2.35). Bol postavený v roku 1932 a prevádza cestnú a železničnú dopravu cez prístav. Pre svoj tvar dostal prezývku Coathanger. S rozpätím hlavného poľa 503 m a celkovou dĺžkou

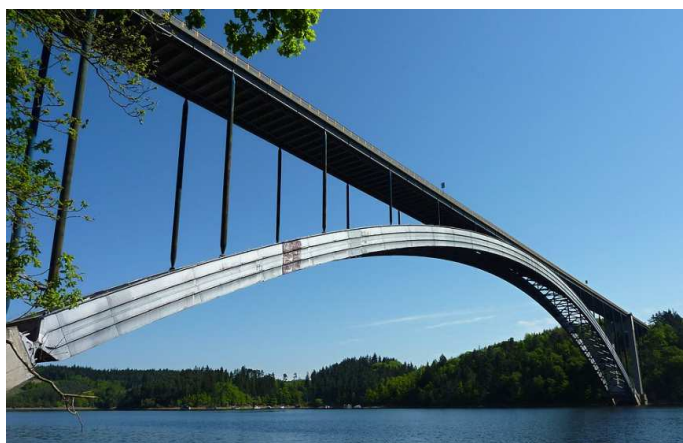


1149 m, patří dodnes k největším mostům světa. Oblúk pozostáva z dvadsiatich ôsmych častí s dĺžkami od 18 do 57 metrov. Vrchol oblúka sa nachádza vo výške 137 m nad hladinou mora. Hmotnosť oceľovej konštrukcie je 52 800 t.



*Obr. 2.35: Most v prístave Sydney [25]*

Najdlhším oblúkovým mostom v Českej republike je Žďákovský most (Obr. 2.36). Ide o dvojkĺbový oblúkový most s hornou mostovkou. Premosťuje rieku Vltavu v mieste Orlickej priehrady. S výstavbou sa začalo v roku 1958 a po viacerých zmenách bola ukončená až v roku 1967. Most má celkovú dĺžku 542,91 m a rozpätie oblúka 330 m. Momentálne mu v rebríčku najdlhších oblúkových mostov sveta patrí 28. pozícia. V kategórii plnostenných dvojkĺbových oblúkov bez ťahadla stále drží prvenstvo. Oblúky majú komorový prierez s výškou 5 m a osovou vzdialenosťou stien 1,0 m. Osová vzdialenosť oblúkov v priečnom smere je 11 m. Stojky ktoré podopierajú dva pozdĺžne trámy mostovky sú od seba vzdialené od 23,4 do 26 metrov. Nad pätným kĺbom dosahujú dĺžku 41,4 m a postupne sa skracujú smerom k vrcholu oblúka. Zaujímavosťou je že najdlhšie stojky boli vyplnené štrkom aby nedochádzalo k ich rozkmitaniu vplyvom vetra.



*Obr. 2.36: Žďákovský most [25]*

Najväčší a najznámejší oblúkový most na Slovensku je most Apollo v Bratislave (Obr. 2.37). Ide o nepravý oblúk, tzv. Langerov trám. Rozpätie hlavného poľa je 231 m a spolu s príslušnými poliami vyše 517 m. Celková dĺžka premostenia s betónovými estakádami má hodnotu 835 m. Celková hmotnosť oceľovej konštrukcie hlavného objektu mosta je 5240 t. Mostovka je k oblúku pripojená pomocou systému závesov, ktorých je na jednom oblúku až šesťdesiat. Most bol postavený v roku 2005 a za svoje architektonické stvárnenie a postup výstavby získal niekoľko cien a ocenení.



Obr. 2.37: Most Apollo v Bratislave [25]

## 2.3 Zaťaženie mostov pozemných komunikácií [13]

Návrhové účinky zaťaženia sa stanovujú pomocou ich charakteristických hodnôt a parciálnych súčiniteľov účinkov zaťaženia. Charakteristické hodnoty zaťaženia mostov definuje norma ČSN EN1991-2. Hodnoty parciálnych súčiniteľov jednotlivých druhov zaťaženia mostov sa nachádzajú v norme ČSN EN 1990, v ktorej nájdeme aj pravidlá zostavovania kombinácií zaťaženia dopravou spolu s inými premennými zaťažzeniami. Zaťaženia sa podľa normy ČSN EN 1990 rozdeľujú na stále, premenné a mimoriadne.

Zaťaženie spriahnutých mostných objektov pozostáva z dvoch častí. Prvá časť zaťaženia pôsobí už pred zatvrdnutím železobetónovej dosky a druhá časť začne pôsobiť na už spriahnutú konštrukciu keď betón získa dostatočnú pevnosť. V prvom prípade sú namáhané iba oceľové nosníky, v druhom spriahnutý nosník. Preto jednotlivé zaťaženia pôsobia na konštrukciu v závislosti na spôsobe montáže. Montážny postup teda musí byť známy už pri návrhu mostu.



V mostnom staviteľstve sa používajú rôzne spôsoby montáže v závislosti na type konštrukcie, miestnych podmienkach, dĺžky premostenia ale aj od materiálu mostu. Pri výstavbe oceľových mostov môžeme konštrukciu podschrúžiť, vysúvať alebo ju môžeme postaviť mimo prekážku a potom otočiť. Pekným príkladom otáčanej konštrukcie z okolia je napríklad most Apollo, ktorý bol postavený v Bratislave v roku 2005. Výpočet zaťaženia musíme teda uvažovať aj na montážne štádia, ktoré môžu často rozhodovať o konečnom posúdení konštrukcie.

Do výpočtu vstupuje zaťaženie reprezentatívnou hodnotou. Základnou reprezentatívnou hodnotou je charakteristická hodnota, ktorá odpovedá pravdepodobnosti výskytu. Premenné zaťaženia, majú aj ďalšie reprezentatívne hodnoty, ktoré sa nazývajú sprievodnými. Sú to kombinačné hodnoty, časté hodnoty a kvázistále hodnoty.

Pri globálnej analýze sa stanovuje odozva konštrukcie od pôsobenia súčasne viacerých zaťažení na konštrukciu. Pravdepodobnosť tohto zaťaženia sa vyjadruje pomocou kombinačných vzorcov. Tie poskytujú kombinácie ktoré zahrňujú všetky možné prípady stavu konštrukcie. V tejto práci boli použité kombinácie 6.10a a 6.10b.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \times G_{k,j} + \gamma_P \times P + \gamma_{Q,1} \times Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \times \Psi_{0,i} \times Q_{k,i} \quad (2.1)$$

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \times G_{k,j} + \gamma_P \times P + \gamma_{Q,1} \times \Psi_{0,1} \times Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \times \Psi_{0,i} \times Q_{k,i} \quad (2.2)$$

$$\sum_{j \geq 1} \zeta_j \times \gamma_{G,j} \times G_{k,j} + \gamma_P \times P + \gamma_{Q,1} \times Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \times \Psi_{0,i} \times Q_{k,i} \quad (2.3)$$

Pre overovanie medzných stavov únosnosti je odporučená kombinácia (2.1) a doplnkové kombinácie (2.2) a (2.3) sa môžu použiť pre individuálny projekt podľa dohody medzi zákazníkom a projektantom v prípade aj dávajú nepriaznivejší účinok ako kombinácia (2.1).

Pozn. : Norma doporučuje použitie kombinácií 6.10a alebo 6.10b.

Tab. 2.1: Doporučené hodnoty súčiniteľov pre cestné mosty [13]

Zaťaženie	Označenie		$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Zaťaženie dopravou (pozri STN EN 1991-2, tabuľka 4.4)	gr1a (LM1+zaťaženie chodcami alebo cyklistami) <sup>1)</sup>	TS	0,75	0,75	0
		UDL	0,40	0,40	0
		Zaťaženie chodcami + zaťaženie cyklistických trás <sup>2)</sup>	0,40	0,40	0
	gr1b (jednonápravové vozidlo)		0	0,75	0
	gr2 (vodorovné sily)		0	0	0
	gr3 (zaťaženie chodcami)		0	0	0
	gr4 (LM4 – zaťaženie davom ľudí)		0	0,75	0
	gr5 (LM3 – zvláštne vozidlá)		0	0	0
Zaťaženie vetrom	$F_{wk}$ - trvalé návrhové situácie		0,6	0,2	0
	- počas výstavby		0,8	-	0
	$F_w^*$		1,0	-	-
Zaťaženie účinkami teploty	$T_k$		0,6 <sup>3)</sup>	0,6	0,5
Zaťaženie snehom	$Q_{Sn,k}$ ( počas výstavby)		0,8	-	-
Zaťaženie počas výstavby	$Q_c$		1,0	-	1,0

Doporučené hodnoty súčiniteľov  $\psi$  pre mosty pozemných komunikácií sú uvedené v Tab. 2.1.

### 2.3.1 Stále zaťaženia mostov

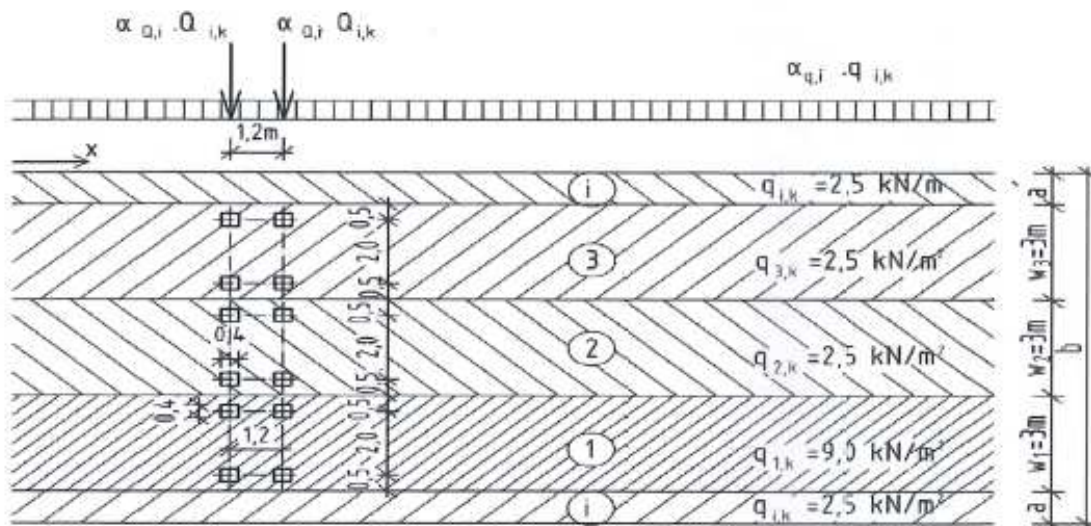
Medzi stále zaťaženia patrí vlastná tiaž prvkov nosnej a nenosnej konštrukcie. Z nosnej konštrukcie sú to teda nosníky poprípade aj ŽB doska spriahnutá s týmito nosníkmi. Medzi tiaž nenosných konštrukcií patrí tiaž izolácií, ríms, zábradlí, zvodidiel, osvetlenia, odvodnenia mosta, poprípade ďalších sietí ktoré môžu byť prevedené mostnou konštrukciou.

Za stále zaťaženia sa považujú aj zmršťovanie, dotvarovanie, poprípade nerovnomerné sadanie konštrukcie, ktoré do konštrukcie vnášajú dodatočné napätia.

### 2.3.2 Premenné zaťaženia cestnou dopravou

Najväčšie z premenných zaťažení je zaťaženie cestnou dopravou. V projekcii mostov sa pre vyjadrenie tohto zaťaženia používajú tzv. „Load modely“, ktoré definuje norma [4]. Tieto modely nám udávajú charakteristické hodnoty zaťažení cestnou dopravou.

### 2.3.2.1 Zatěžovací model LM1



Obr. 2.38: Zatěžovací model LM1 [13]

Tento model uvažuje zo sústredenými dvoj nápravami vozidiel, tzv. tandem systémom s tiažou nápravy  $\alpha_Q Q_k$  a rovnomerným spojitým zaťažením s intenzitou  $\alpha_q q_k$ . Toto zaťaženie vystihuje väčšinu účinkov normálnej prevádzky nákladných vozidiel a automobilov. Súčasťou tohto modelu je aj zohľadnenie dynamických účinkov dopravy. Modelom sa overuje celkové a lokálne overenie.

Tab. 2.2: Zatěžovací model LM1 [13]

Poloha	Tandemový systém (TS) Dvojnápravové vozidlo	UDL systém
	Nápravové zaťaženie $Q_{ik}$ (kN)	$q_{ik}$ (alebo $q_{ik}$ ) (kN/m <sup>2</sup> )
Zatěžovací pruh 1 ( $Q_1$ )	300	9
Zatěžovací pruh 2 ( $Q_2$ )	200	2,5
Zatěžovací pruh 3 ( $Q_3$ )	100	2,5
Ďalšie zaťažovacie pruhy	0	2,5
Zvyšná plocha zaťažovacieho priestoru ( $q_{ik}$ )	0	2,5

Kontaktná plocha kolesa s vozovkou je uvažovaná 0.40×0.40m a šírka každého pruhu okrem zvyšnej časti je 3m. Model sa na most umiestňuje do najúčinnejšej polohy v priečnom aj pozdĺžnom smere, vzhľadom na konkrétny posudzovaný prvok mostu.

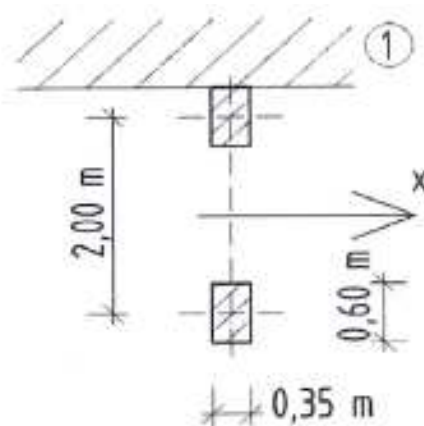
Podľa normy [1] je potrebné uvažovať s úpravou hodnôt nápravových tlakov vzhľadom na národnú prílohu. Táto úprava je daná na základe kategorizačných súčiniteľov  $\alpha_Q$  pre nápravové tlaky a  $\alpha_q$  pre rovn. spoj. zaťaženie. Hodnoty ktoré boli použité v rámci tejto diplomovej práce sú prebrané z českej normy.

Tab. 2.3: Hodnoty kategorizačných súčiniteľov podľa českej národnej prílohy. [1]

skupina pozemních komunikací	$\alpha_{Q1}$	$\alpha_{Q2}$	$\alpha_{Q3}$	$\alpha_{q1}$	$\alpha_{q2}$	$\alpha_{q3,4}$	$\alpha_{qr}$
1	1,0	1,0	1,0	1,0	2,4	1,2	1,2
2	0,8	0,8	0,8	0,45	1,6	1,6	1,6

### 2.3.2.2 Zaťažovací model LM2

Tento model sa skladá z jednonápravového zaťaženia  $\beta_Q Q_{ak}$  s tiažou  $Q_{ak} = 400$  kN. Zahrňuje aj dynamické účinky a uvažuje sa v ľubovoľnej polohe na vozovke. Hodnotu kategorizačného súčiniteľa nájdeme rovnako v národnej prílohe [4]. Kontaktná plocha kolesa sa uvažuje  $0,35 \times 0,60$  m.



Obr. 2.39: Zaťažovací model LM2 [4]

### 2.3.2.3 Zatřazovací model LM3

Tento model reprezentuje těžkou cestní dopravu. Charakterizuje skupiny zvláštních vozidel, které sú uvedené v [4] přílohe A. Základné modely sú uvedené v (Tab. 2.4).

Tab. 2.4: Typy zvláštních vozidel [4]

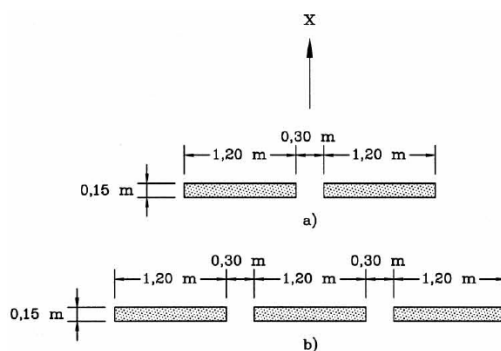
Celková tíha	Skladba náprav	Označení
600 kN	4 nápravy po 150 kN	600/150
900 kN	6 náprav po 150 kN	900/150
1 200 kN	8 náprav po 150 kN nebo 6 náprav po 200 kN	1 200/150 1 200/200
1 500 kN	10 náprav po 150 kN nebo 7 náprav po 200 kN + 1 náprava 100 kN	1 500/150 1 500/200
1 800 kN	12 náprav po 150 kN nebo 9 náprav po 200 kN	1 800/150 1 800/200
2 400 kN	12 náprav po 200 kN nebo 10 náprav po 240 kN nebo 6 náprav po 200 kN (vzdálenost 12 m) + 6 náprav po 200 kN	2 400/200 2 400/240 2 400/200/200
3 000 kN	15 náprav po 200 kN nebo 12 náprav po 240 kN + 1 náprava 120 kN nebo 8 náprav po 200 kN (vzdálenost 12 m) + 7 náprav po 200 kN	3 000/200 3 000/240 3 000/200/200
3 600 kN	18 náprav po 200 kN nebo 15 náprav po 240 kN nebo 9 náprav po 200 kN (vzdálenost 12 m) + 9 náprav po 200 kN	3 600/200 3 600/240 3 600/200/200

Tieto modely definujú celkové a aj lokálne účinky vozidiel nevyhovujúcim národným predpisom. Model LM3 sa uvažujem individuálne len pre mosty na osobitne určených trasách. Väčšinou ide o požiadavku zadávateľa stavby, teda národnej diaľničnej spoločnosti, ministerstva dopravy a výstavby alebo správy ciest. Ak nie je stanovené inak používa sa špeciálne vozidlo 3000/240 podľa (Tab. 2.4).

Toto vozidlo sa umiestňuje do dvoch susedných pruhov a je to jediné vozidlo na moste. Jeho rýchlosť je obmedzená na 5 km/hod a doprava po celej dĺžke mosta je zastavená. Opis zvláštnych vozidiel je uvedený v (Tab. 2.5). Usporiadanie náprav je na (Obr. 2.40).

Tab. 2.5: Opis zvláštných vozidiel [4]

	Nápravy 150 kN	Nápravy 200 kN	Nápravy 240 kN
600 kN	$n = 4 \times 150$ $e = 1,50 \text{ m}$		
900 kN	$n = 6 \times 150$ $e = 1,50 \text{ m}$		
1 200 kN	$n = 8 \times 150$ $e = 1,50 \text{ m}$	$n = 6 \times 200$ $e = 1,50 \text{ m}$	
1 500 kN	$n = 10 \times 150$ $e = 1,50 \text{ m}$	$n = 1 \times 100 + 7 \times 200$ $e = 1,50 \text{ m}$	
1 800 kN	$n = 12 \times 150$ $e = 1,50 \text{ m}$	$n = 9 \times 200$ $e = 1,50 \text{ m}$	
2 400 kN		$n = 12 \times 200$ $e = 1,50 \text{ m}$ $n = 6 \times 200 + 6 \times 200$ $e = 5 \times 1,5 + 12 \times 5 \times 1,5$	$n = 10 \times 240$ $e = 1,50 \text{ m}$
3 000 kN		$n = 15 \times 200$ $e = 1,50 \text{ m}$ $n = 8 \times 200 + 7 \times 200$ $e = 7 \times 1,5 + 12 + 6 \times 1,5$	$n = 1 \times 120 + 12 \times 240$ $e = 1,50 \text{ m}$
3 600 kN		$n = 18 \times 200$ $e = 1,50 \text{ m}$	$n = 15 \times 240$ $e = 1,50 \text{ m}$ $n = 8 \times 240 + 7 \times 240$ $e = 7 \times 1,5 + 12 + 6 \times 1,5$
POZNÁMKA $n$ počet náprav násobených tíhou [kN] každé nápravy v každej zostave $e$ vzdálenosť náprav (m) v zostave a medzi zostavami			



Obr. 2.40: Usporiadanie náprav a stanovenie kontaktnej plochy [4]



### 2.3.2.4 Zatřazovací model LM4

Tento model reprezentuje dav lidí a je definovaný spojitým rovnomerným zatřžením. Hodnota  $q = 5 \text{ kN/m}^2$  a zahrřňa aj dynamické účinky. Model sa používa pre celkové overenie pre dočasnú návrhovú situáciu.

### 2.3.2.5 Rozjzdové a brzdné sily

Brzdná sila  $Q_{lk}$  sa uvažuje sila pôsobiaca v pozdřžnom smere na povrchu vozovky. Charakteristická hodnota sily  $Q_{lk}$ , uvažovaná na celú řírku mosta je určená ako podiel zo všetkých zvislých zatřžení z modelu LM1. Najúčinněšie pôsobenie sa predpokladá v pruhu ř. 1. Sila  $Q_{lk}$  sa počíta následovne:

$$Q_{lk} = 0,6\alpha_{ql}(2Q_{lk}) + 0,10\alpha_{ql}q_{1k}w_1L \quad (2.4)$$

Táto sila musí byť väčšia ako  $180 \alpha_{ql}$  a menšia ako 900 kN. Sila sa umiestňuje pozdřž osy príslušného pruhu. Ak sú účinky excentricky pôsobiacich síl zanedbateľné, sila sa môže uvažovať ako rovnomerne spojitá pozdřž osy vozovky.

### 2.3.2.6 Odstredivé sily

Odstredivé sily pôsobia priečne v smere kolmom k osy vozovky. Ich charakteristické hodnoty sú uvedené v (Tab. 2.6)

Tab. 2.6: Charakteristické hodnoty odstredivých síl [4]

$Q_{tk} = 0,2 Q_v \text{ (kN)}$	je-li $r < 200 \text{ m}$
$Q_{tk} = 40 Q_v / r \text{ (kN)}$	je-li $200 \leq r \leq 1\,500 \text{ m}$
$Q_{tk} = 0$	je-li $r > 1\,500 \text{ m}$

Odstredivá sila sa modeluje ako bodovo pôsobiaca sila, ktorá je umiestnená v najnepriaznivejšej polohe posudzovaného rezu.

### 2.3.2.7 Skupiny dopravného zat'azenia na mostoch pozemných komunikácií

Niektoré z vyššie spomenutých zaťažovacích modelov môžu pôsobiť na konštrukciu súčasne. Vytvárajú tzv. zaťažovacie zostavy. Každá z týchto zostáv ktoré sa navzájom vylučujú sa má považovať za charakteristickú hodnotu zaťaženia pre kombináciu zo zaťažením iným ako od dopravy ( napríklad klimatické zaťaženie).

Tab. 2.7: Zaťažovacie skupiny zaťaženia cestnou dopravou [4]

		VOZOVKA						Chodníky pre chodcov a cyklistov
Typ zaťaženia		Zvislé sily				Vodorovné sily		Výlučne zvislé zaťaženie
Zaťažovací systém		Hlavný zaťaž. systém	LM2 Jednonápra- vové vozidlá	LM3 Zvláštne vozidlá	LM4 Zaťaženie davom ľudí	Rozjazdové a brzdné sily	Odstredivé a bočné sily	Rovnomerné spojité zaťaženie
Zaťažovacie skupiny	gr1a	Charakter. hodnoty				(a)	(a)	Kombinačná hodnota <sup>(b)</sup>
	gr1b		Charakter. hodnota					
	gr2	Časté hodnoty <sup>(b)</sup>				Charakter. hodnota	Charakter. hodnota	
	gr3 <sup>(d)</sup>							Charakter. hodnota <sup>(c)</sup>
	gr4				Charakter. hodnota			Charakter. hodnota <sup>(b)</sup>
	gr5	príloha A [2.6]		Charakter. hodnota				
Dominantná zložka zaťaženia (označená ako zložka súvisiaca so skupinou)								
<sup>(a)</sup> Národná príloha neodporúča v tejto skupine uvažovať s vodorovnými pozdĺžnymi ani priečnymi silami.								
<sup>(b)</sup> Môžu byť definované v národnej prílohe. Odporúčaná hodnota je 3 kN/m <sup>2</sup> .								
<sup>(c)</sup> Môže byť zaťažený iba jeden chodník v prípade, že to vyvolá nepriaznivejší účinok, ako keď sú zaťažené oba chodníky.								
<sup>(d)</sup> Táto skupina sa neuvažuje, ak sa uvažuje skupina gr4.								

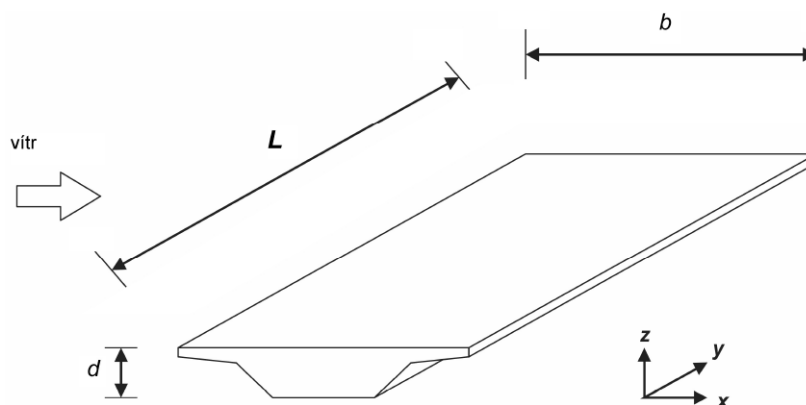
### 2.3.3 Ostatné premenné zaťaženia

Medzi ostatné premenné zaťaženia sa považujú zaťaženia od vetra, snehu, zaťaženia zmenou teploty alebo deformačné zaťaženie poklesom podpôr.



### 2.3.3.1 Zatřažení vetrom

Zatřažení vetrom na most spôsobuje na konštrukcii sily v smere  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (Obr. 2.41).



Obr. 2.41: Smery zatřažení vetrom na mostoch [3]

Podrobnejší opis výpočtu je uvedený v [3], pričom táto norma zahrňuje aj zjednodušený výpočet zatřažení od vetra v smere  $x$ ,  $y$  a  $z$ , ktorý je použitý aj v rámci tejto diplomovej práce.

### 2.3.3.2 Zatřažení snehom

Toto zatřažení sa v bežných prípadoch uvažovať nemusí, pretože sa vylučuje zo zatřažení dopravou. Opodstatnenie by sme našli možno pri letnej betonáži mostov počas zimných mesiacov.

### 2.3.3.3 Zatřažení teplotou

Teplota môže výrazne ovplyvňovať namáhanie konštrukcie a zároveň pozdĺžne pretvorenie konštrukcie, čo súvisí aj s návrhom ložísk a dilatačných záverov mostov. Je teda dôležitou súčasťou výpočtu. V norme [5] sú uvedené postupy pre výpočet mostov zatřažených teplotným namáhaním.

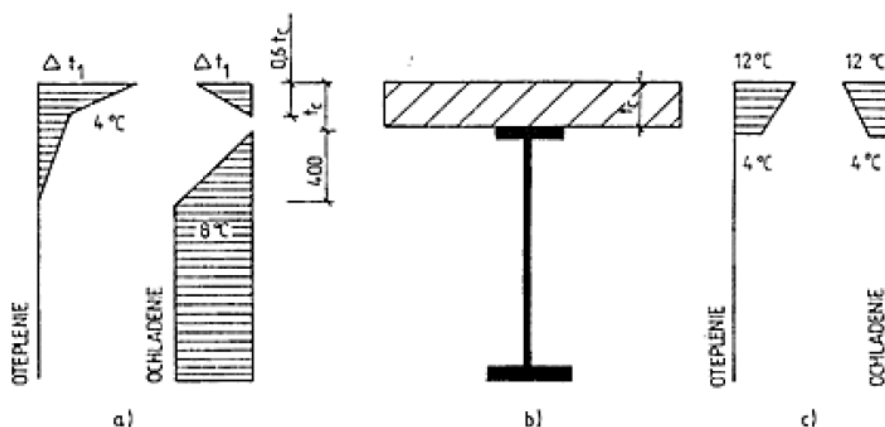
## Rovnomerná zmena teploty

Závisí od minimálnej a maximálnej teploty, ktorá sa určuje podľa oblasti výstavby. Výsledkom je rada rovnomerných teplotných zmien, ktoré spôsobujú dĺžkové zmeny, ktorých pretvorenia nie sú v konštrukciách obmedzované.

## Nerovnomerná zmena teploty spráženého mostu [21]

Teplotný rozdiel môže dosahovať až 20 °C. Teplotný gradient po výške prierezu nie je konštantný pretože oceľ vedie teplo výrazne lepšie ako betón. Navyše majú oceľové prierezy malú teplotnú zotrvačnosť pretože sú rádovo tenšie ako betónová doska. Prípady rozdelenia teploty po výške prierezu sú nasledovné:

- betónová doska vystavená priamemu žiareniu, zatiaľ čo nosník je zatienený,
- ochladenie konštrukcie v nočných hodinách,
- nosník vystavený žiareniu v ranných hodinách,
- náhle ochladenie oceľ. nosníku po daždi



Obr. 2.42: Nerovnomerná zmena teploty, a) všeobecný priebeh, b) priečný rez, c) zjednodušený diagram [22]

### 2.3.3.4 Deformačné zaťaženie

Pri niektorých návrhových situáciách ako napríklad pri stavbe v baníckom území alebo horších základových pomeroch môžeme do výpočtu zahrnúť deformačné zaťaženie poklesom podpôr. Rovnako môže dôjsť aj k podmytiu piliera a následnému poklesu podpory.

### 2.3.4 Modely na únavu

Cestná doprava vyvoláva na moste spektrum napätí, ktoré môže spôsobiť únavové namáhanie materiálu. Toto spektrum je závislé na geometrií vozidiel, vzdialenostiach vozidiel, nápravových silách a skladbe dopravného prúdu. Norma [4] definuje päť zaťažovacích únavových modelov.

### 2.3.5 Mimoriadne zaťaženia

Mimoriadnym zaťažením sa považuje náraz vozidla do mostnej podpory, pohľad mostu alebo ľubovoľnej nosnej konštrukcie mostu. V tomto prípade sa vylučuje kombinácia s iným premenným zaťažením. Ďalej to môže byť náraz vozidiel na obrubník alebo zábradlie či zábradelné zvodidlo. Konkrétne modeli týchto zaťažení sú uvedené v [4].

## 2.4 Zásady globálnej analýzy[13]

Globálna analýza je proces definujúci vnútorné sily a pretvorenia konštrukcie. Je to teda odozva konštrukcie na zaťaženia na ňu pôsobiace. Každá konštrukcia je špecifická, preto sa ku každému výpočtovému modelu stavíme odlišne. Výpočtový model analyzovanej konštrukcie tvoríme vzhľadom na správne vystihnutie jej správania v rámci príslušného medzného stavu. Preto predpoklady a zjednodušenia prijaté pri tvorbe modelu musia odpovedať očakávanej odozve konštrukcie.

Pre zovšeobecnenú analýzu používame analytické modeli. Ich výhodou je obecné povedané jednoduchosť, aj keď analytické riešenia nemusia byť nevyhnutne jednoduchou úlohou. Pomocou týchto modelov však môžeme jednoduchšie pochopiť podstatu pôsobenia konštrukcie. Ich nevýhodou je limitácia použitia na elementárne problémy. Pri komplikovanej geometrii, pôsobení zaťaženia alebo sústav zaťažení a ich kombinácií je často nemožné nájsť analytické riešenie. Riešenia diferenciálnych rovníc opisujúci problém pri zadaní okrajových podmienok sú často zložité alebo vôbec neexistujú. Je však nutné podotknúť, že pomocou týchto modelov sa ešte nie tak dávno navrhovali a posudzovali aj konštrukcie veľkého významu.

V prípade že analytické riešenie nestačí používame riešenia numerické. Otázkou je vhodnosť voľby správneho riešenia. Numerické modeli sú už z podstaty komplikované. Pri

modelovaní mostov ide väčšinou o zložené prútové sústavy, dosky, steny alebo škrupiny. Z toho vyplýva časová náročnosť pri ich použití. Dobrý projektant by mal ovládať oba spôsoby riešenia problémov, pretože použitie analytických modelov má stále svoj význam, najmä pri predbežnom návrhu konštrukcie, alebo pri kontrole správnosti numerického modelu.

Numerické riešenia sa snažia nájsť presné riešenie zadaného problému. Riešenie však môže byť len tak presné, ako je jeho definícia. Nemôžeme teda očakávať presnú, teda reálnu odozvu konštrukcie, pretože pre jej zložitosť vždy, aj pri numerickom modelovaní využívame inžinierske zjednodušenia.

Neoceniteľnou výhodou numerických modelov je bezpochyby ich schopnosť vyjadriť priestorové pôsobenie konštrukcie. V súčasnosti sú najviac používané finitné modely ako metóda konečných pásov, metóda lomeníc alebo metóda prenosových matíc. Najefektívnejšou a v stavebníctve najpoužívanejšou metódou je metóda konečných prvkov MKP, ktorá je použitá aj v rámci tejto diplomovej práce.

Metóda sa využíva pre rovinné aj priestorové úlohy v závislosti na požadovanej presnosti, umiestnení zaťaženia alebo zložitosti geometrie. Metóda sa dá použiť na lineárny a nelineárny výpočet v závislosti na skúsenostiach statika a jeho schopnosti zadať program správne imperfekcie a ich typy, či správne zadanie uzlov, ktoré priamo ovplyvňuje výstupy z globálnej analýzy.

#### **2.4.1 Metódy globálnej analýzy**

Z hľadiska využitia nelineárnych vlastností materiálov je možné stanoviť vnútorné sily na konštrukcii:

- lineárnou analýzou – pružnostným výpočtom,
- materiálovo nelineárnou analýzou – plasticitným výpočtom.

Pružnostný výpočet sa môže použiť vo všetkých prípadoch. Predpokladá lineárnu závislosť napätia a pretvorenia materiálu. Výpočet je rýchly a vo väčšine prípadov aj dostatočne výstižný, poskytujúci konzervatívne výsledky vnútorných síl. Pre globálnu analýzu oceľových mostných konštrukcií je odporúčaný práve tento spôsob výpočtu.

Pri použití plasticitnej globálnej analýzy predpokladáme vznik plastických klbov alebo plastických zón. Neplatí pri nej princíp superpozície, preto sa analyzuje konštrukcia pre každú vyšetrovanú kombináciu zaťažení zvlášť. Na globálnu analýzu mostných konštrukcií sa s výnimkou mimoriadnych návrhových situácií nepoužíva.

Podľa toho, či pri globálnej analýze uvažujeme s pretvorením konštrukcie od zaťaženia, možnými imperfekciami konštrukcie a jej prvkov a inými nepresnosťami, rozlišujeme:

- globálnu analýzu podľa **teórie prvého rádu**, ktorá nezohľadňuje vplyv pretvorenia ani imperfekcií a stanovuje vnútorné sily na modely ideálnej nezdeformovanej konštrukcie,
- globálnu analýzu podľa **teórie druhého rádu**, ktorá stanovuje vnútorné sily pri zohľadnení pretvorenia konštrukcie a jej nedokonalostí za predpokladu rovnováhy na pretvorenom modeli konštrukcie.

Analýza konštrukcie podľa teórie druhého rádu je všeobecnejšia a môže sa aplikovať vždy. Postup výpočtu vnútorných síl podľa teórie druhého rádu je podstatne náročnejší z softvérového aj hardvérového hľadiska ako aj časovej náročnosti preto je snaha aplikovať pri výpočte vnútorných síl analýzu podľa teórie prvého rádu, ktorá je menej náročná.

## 2.4.2 Globálna analýza oblúkových mostov – rovinné modely

Pri tvorbe rovinného modelu oblúkového mostu zanedbávame spolupôsobenie mostovky s hlavným nosníkom, teda uvažujeme, že mostovka je pripojená klbovo k trámu. Ďalším predpokladom je veľmi malá tuhosť závesov resp. stĺpikov v porovnaní s tuhosťou trámu a oblúka. Ich prípoje na trám a oblúk sú považované za klbové. Pri rovinných modeloch navyše zanedbávame deformácie od normálových síl. Väčšina novodobých mostov má oblúk tvarovaný do tvaru kružnice resp. paraboly. Pri starších mostoch sa zvykli používať zalomené polygonálne prúty. Pri rovinných modeloch sa zakrivenie prútov medzi uzlami zanedbáva a sú považované za priame úseky. Pri globálnej analýze oblúkových mostov rovinnými modelmi sa zanedbáva vplyv pretvorenia od posúvajúcich síl. Tým sa dopúšťame chyby hlavne pri výpočte oblúkových mostov s plochým oblúkom a pri mostoch s ťahadlom.

Pre výpočet sa často používajú vplyvové čiary vnútorných síl. Najvýhodnejšie je použiť vplyvové čiary momentov k jadrovým bodom. Pri týchto vplyvových čiarach sa

aplikuje zaťaženie dopravou do takého postavenia, ktoré vyvodí maximálne namáhanie prierezu od ohybového momentu a normálovej sily.

V plnostennom oblúku vznikajú všetky tri zložky vnútorných síl ktoré sa počítajú nasledovne:

$$M_x = M_0 - H_z \quad (2.5)$$

$$N_x = -V_0 \times \sin \varphi - H \times \cos \varphi \quad (2.6)$$

$$V_x = V_0 \times \cos \varphi - H \times \sin \varphi \quad (2.7)$$

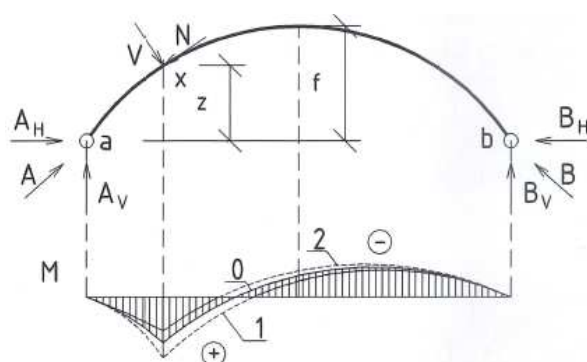
$H$  vodorovná sila v oblúku;

$M$  ohybový moment na náhradnom nosníku;

$z$  zvislá vzdialenosť bodu  $x$  od podpory;

$V_0$  zvislá priečna sila na náhradnom nosníku;

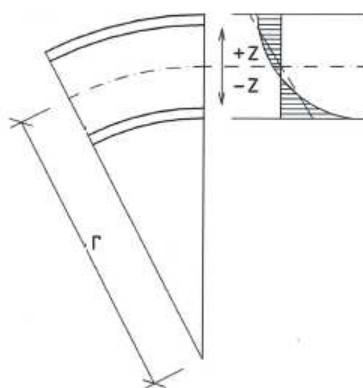
$\Phi$  uhol strednice oblúka v mieste  $x$  s horizontálou;



Obr. 2.43: Základné vzťahy pre plnostenný oblúk; 0) vplyvová čiara ohybových momentov v ťažisku; 1,2) Vplyvová čiara jadrových ohybových momentov k dolnému resp. hornému vláknu [13]

V prípade že na oblúk pôsobí zároveň aj iné zaťaženie ako zvislé, jeho vodorovná zložka sa pripočíta k hodnote oblúkovej sily  $H$ .

Podľa Navierovej hypotézy pri prútoch so zakrivenou strednicou neostanú priečne rezy rovinnými, ale sa zakrivujú. Rozdelenie napätia po výške prierezu tak nemá lineárny ale hyperbolický priebeh.



Obr. 2.44: Hyperbolický priebeh napätia na zakrivenom prúte [13]

Napätia na vonkajšom okraji oblúka sa znižujú a naopak na vnútornom okraji sa napätia zvyšujú. Napätia v ľubovoľnom bode na priereze, ktorý je od strednice vo vzdialenosti „z“ môžeme opísať vzťahom.

$$\sigma_z = \frac{N}{A} - \frac{M}{rA} - \frac{Mz}{Z} \frac{r}{r+z} \quad (2.8)$$

Z je zovšeobecnený kvadratický moment plochy  $Z = r \int \frac{z^2}{r+z} dA$ ;

M je ohybový moment v oblúku;

N je normálová sila v oblúku;

A je plocha priečného rezu oblúka;

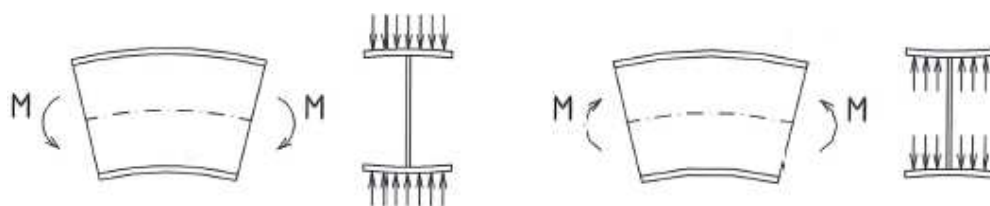
r je polomer zakrivenia oblúka;

z je vzdialenosť vlákna od strednice;

Zovšeobecnený kvadratický moment plochy „Z“ nadobúda vyšších hodnôt ako kvadratický moment plochy „I“. Rozdiel medzi nimi však prudko klesá s narastajúcim polomerom zakrivenia oblúka „r“. Pre veľké polomery zakrivenia oblúka „r“ teda môžeme uvažovať lineárny priebeh napätia, rovnako ako pre prúty priame:

$$\sigma_z = \frac{N}{A} - \frac{Mz}{I} \quad (2.9)$$

Naopak pri malých polomeroch zakrivenia, ktoré sa vyskytujú hlavne pri rámových mostoch, je vplyv radiálnych síl nezanedbateľný. Tieto sily namáhajú pásnice prierezu priečnym ohybom (Obr. 2.45). Dochádza tak k ich deformáciám. Problematika sa najčastejšie rieši vhodným rozmiestnením priečných výstuh, ktoré bránia deformáciám.

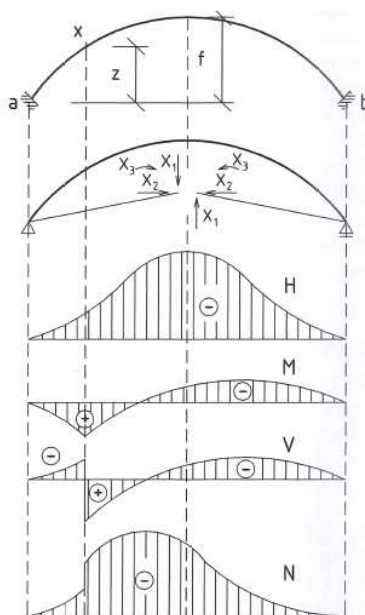


Obr. 2.45: Namáhanie pásnic prierezu oblúka priečnym ohybom [13]

Oblúková sila výrazne ovplyvňuje veľkosť ohybových momentov. Jej maximálna hodnota je v strede rozpätia oblúka, maximálne ohybové momenty dostaneme približne v štvrtine jeho rozpätia.

Riešenie 3x staticky neurčitého nosníka (votknutého) je voľba troch staticky neurčitých veličín. Najvýhodnejšie je zvoliť základnú staticky určitú sústavu podľa Obr. 2.46 tak, aby staticky neurčité veličiny pôsobili v ťažisku celého oblúka na fiktívnych dokonale tuhých ramenách. Za staticky neurčité veličiny volíme priečnu silu  $X_1$ , normálovú silu  $X_2$  a ohybový moment  $X_3$ . Jednotlivé deformácie spočítame nasledovne:

$$\delta_{ik} = \int_1 \frac{M_i M_k}{EI} ds + \int_1 \frac{V_i V_k}{GA} ds + \int_1 \frac{N_i N_k}{EA} ds \quad (2.10)$$



Obr. 2.46: Výpočet votknutého oblúka [13]

V jednotlivých deformačných podmienkach vystupuje potom vždy iba jedna neznáma a riešenie je nasledovné:



---

$$[\delta]X = [E] \quad (2.11)$$

$$\{X\} = [E][\delta]^{-1} \quad (2.12)$$

$[\delta]$  je matica deformácií základnej staticky určitej sústavy od jedn. zať. stavov;

$[E]$  je matica deformácií zákl. stat. určitej súst. od zvislého návrhového zaťaženia;

$\{X\}$  sú neznáme hodnoty vnútorných síl;

### 3 STAVEBNÝ OBJEKT A DEFINÍCIA JEHO ZÁKLADNÉHO PÔSOBENIA

Predmetom diplomovej práce je návrh konštrukcie oceľového oblúkového mosta a jeho statické posúdenie. Pri návrhu som sa inšpiroval už zhotovenou konštrukciou oblúkového mostu ktorá spĺňala požiadavky zadanej diplomovej práce. Vybraná konštrukcia sa nachádza pri Nitre a prekonáva rýchlostnú cestu R1. [\[23\]](#)



*Obr. 3.1: Oblúkový most na rýchlostnej ceste R1 [\[23\]](#)*

Oceľo-betónová mostná konštrukcia ktorá prevádza jednu z vetví mimoúrovňovej križovatky Lehota cez rýchlostnú komunikáciu R1 bola dokončená v roku 2010. Po obhliadke mostu a prevedení základnej štúdie o objekte som zistil pár špecifik, ktoré ma presvedčili o tom, že výber konštrukcie je správny a že pri spracovaní diplomovej práce sa obohatím ako o skúsenosti s modelovaním zložitej konštrukcie tak aj o posudzovanie zaujímavých konštrukčných detailov. Prvotné špecifiká ktoré ma zaujali boli:

- samokotvený oblúkový systém, teda vodorovná zložka vznikajúca v oblúku je prenášaná pomocou šikmých vzpier do medzil'ahlej mostovky,
- použitie veľmi štíhlych oblúkových prierezov,
- použitie sprážených nosných oceľobetónových oblúkov,
- spoj nosného trámu s oblúkom pomocou vloženého čapu.

### 3.1 Identifikačné údaje

Stavba:	Rýchlostná cesta R1, úsek Nitra-Senec
Objekt:	201-00
Názov mosta:	Most na vetve križovatky nad R1
Kraj:	Nitriansky
Katastrálne územie:	Lužičanky
Okres:	Nitra
Stavebník:	Národná diaľničná spoločnosť a.s.
Investor:	Ministerstvo dopravy, SR
Správca mosta:	Národná diaľničná spoločnosť a.s.

### 3.2 Základné údaje o moste

Dĺžka premostenia:	83,380 m
Dĺžka mosta:	98,961 m
Šikmosť mosta:	pravá
Šírka medzi zvodidlami:	10,75 m
Šírka služobného chodníka:	0,75 m
Celková šírka mosta:	13,8 m
Výška mosta:	7,41 m
Stavebná výška:	1,08 m
Dĺžka nosnej konštrukcie:	88,780 m
Plocha mosta:	$88,780 \times 13,8 = 1225,2 \text{ m}^2$

### 3.3 Definícia základného pôsobenia konštrukcie

#### 3.3.1 Charakteristika objektu

Nosnú konštrukciu tvorí samokotvený oblúkový systém s medziľahlou mostovkou, oblúky sú tvorené oceľovým zvareným prierezom obdĺžnikového tvaru premennej výšky, narastajúcej smerom k základu. Mostovku tvoria krajné hlavné oceľové nosníky s oceľovými priečnikmi a spráženou železobetónovou doskou výšky 0,200 m.

Mostovka je v strednej časti zavesená na závesných tyčiach a je pevne spojená s koncovými priečnikmi a oblúkmi. Koncové priečniky sú navrhnuté ako integrované opory a so základmi pod oblúkmi sú spojené vždy dvojicou železobetónových vzpier. Vodorovná sila z oblúku je cez vzpery prenesená do spráženej mostovky, ktorá pôsobí ako ťahadlo.

Pre priaznivejšie architektonické pôsobenie nie je navrhnuté žiadne stuženie, teda sú navrhnuté voľné oblúky. Oblúky sú parabolické, votknuté do betónových pätiiek.

Založenie mosta je hlbinné na pilotách priemeru 1,2 m. Piloty pod krajnými priečnikmi sú z dôvodu väčšej pozdĺžnej deformácie konštrukcie, v horných 4 metroch zúžené na profil 0,9 m.

Smerovo sa osa komunikácie nachádza v priamej. Smerovo je konštrukcia nerozdelená. Priečny sklon konštrukcie je strechovitý v spáde 2,5%. Pozdĺžny sklon mosta je 2,0% . Na moste sú v súlade s [11] a [12] navrhnuté dva núdzové chodníky.

#### 3.4 Statické pôsobenie pri výstavbe

Oceľová konštrukcia mostovky bude vysunutá na montážnych podporách nad rýchlostnou komunikáciou. Až do fáze zavesenia na oceľové oblúky zostanú krajné nosníky mostovky kontinuálne podporené na skruži. Oblúky, ktoré sú rozdelené na tri diely, budú uložené na montážne podpory a následne zvarené. Oblúky budú k mostovke pripojené oceľovými čapmi. Po osadení oblúku budú vybetónované krajné priečniky, základy pod oblúkmi a dvojica vzpier medzi základom a koncovým priečnikom. Nasledovať bude vybetónovanie uzatvorených profilov oblúkov a inštalácia závesov strednej časti oceľovej konštrukcie mostovky. Po vytvrdnutí betónu mostovky budú predopnuté závesy, následne budú odstránené montážne podpory a skruž. Po odskrúžení konštrukcie budú oblúky

privarené ku krajným nosníkom mostovky a na záver bude nainštalované mostné príslušenstvo.

### 3.4.1 Charakteristika ručného výpočtu konštrukcie

Mostovka riešeného mosta je považovaná za prvkovú mostovku, skladajúcu sa z priečnikov a pozdĺžnikov. Toto riešenie predstavuje roštovú konštrukciu, ktorej riešenie je samo o sebe staticky neurčité.

Voľba vhodného a jednoduchého modelu je závislá na druhu mostnej konštrukcie, tuhosti jednotlivých mostovkových prvkov a na tuhosti a spôsobe spojenia týchto prvkov.

Pre výpočet priečnikov bol použitý model jednoduchého nosníka. Výpočet oblúka a pozdĺžnika si vyžaduje zložitejší model, vzhľadom na vystihnutie samokotveného systému. Dôležitým faktorom teda je aj vystihnutie tuhosti v podporách mosta.

Pri návrhu cestného mosta je sledované postavenie najúčinnnejšieho postavenia zaťaženia v pozdĺžnom a priečnom smere, teda vypočítané zaťaženia sú umiestnené do najefektívnejšej polohy z hľadiska vytvorenia čo najvyšších účinkov vnútorných síl. Pre výpočet tejto polohy je použitý výpočet pomocou pričinkových čiar.

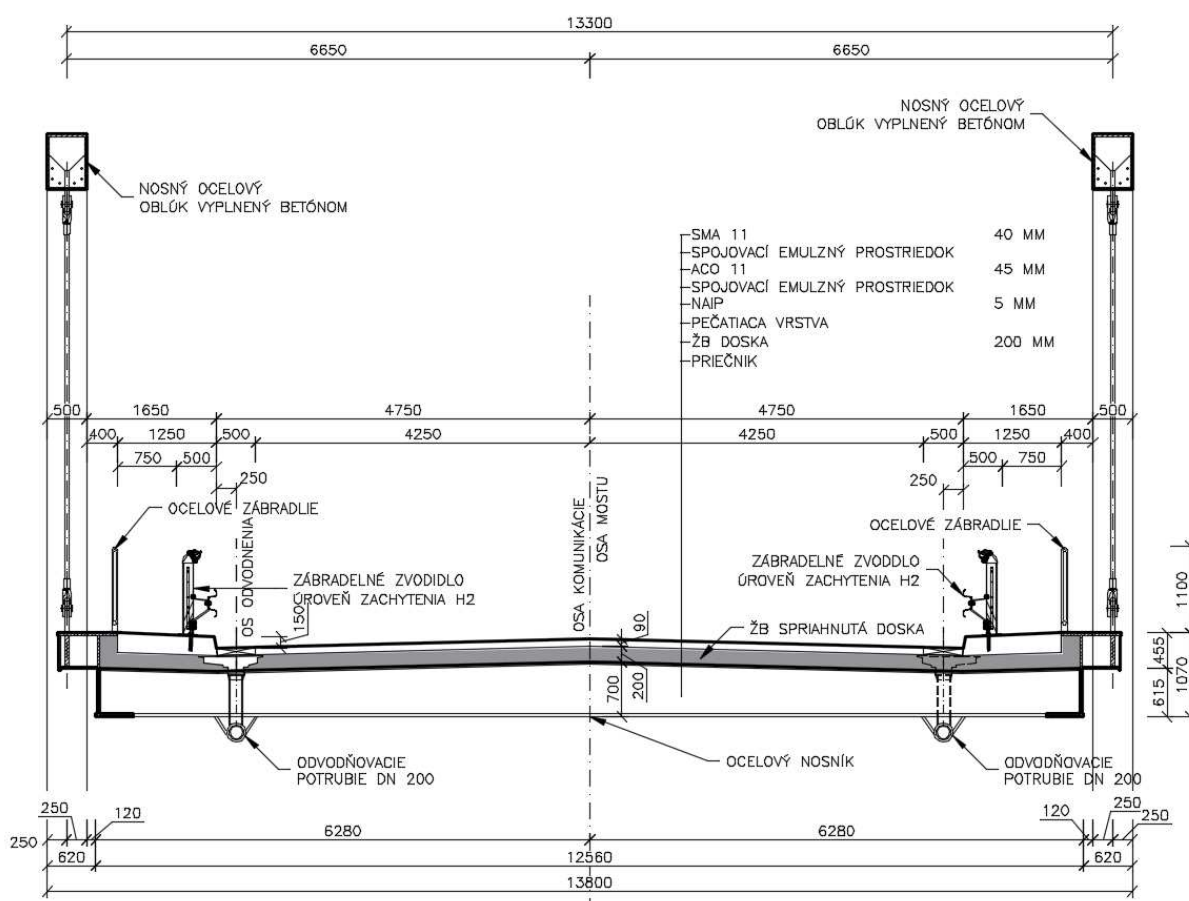
### 3.4.2 Charakteristika statických MKP modelov

Model je vytvorený ako prúťový priestorový model s betónovou doskou tvorenou dosko-stenovými prvkami. Model v sebe zahŕňa fázy výstavby ako aj dlhodobé účinky zaťaženia s ohľadom na vek konštrukcie. Ocelobetónový oblúk je nahradený prútom kompozitného prierezu, ktorý lepšie vystihuje spolupôsobenie ocelevej a betónovej časti profilu. Ocelová konštrukcia mostovky je uvažovaná ako rošt, kde sú jednotlivé prvky konštrukcie uvažované ako prúty vedené strednicou prierezu. Delenie prierezov v SW Midas Civil je približne 1m. Prúty sú vzájomne spojené tuhými väzbami. Hlavná nosná konštrukcia je votknutá do spodnej stavby. Tuhosť podložia je nahradená uložením pilot na pružinách vo všetkých smeroch.

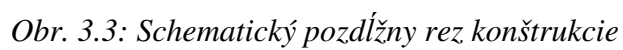
### 3.4.3 Materiál konštrukcie

Oceľová NK	S 355
Závesy	S 450
Betón NK	C30/37
Betonárska oceľ	B 500(B)
Závesné tyče	Macalloy

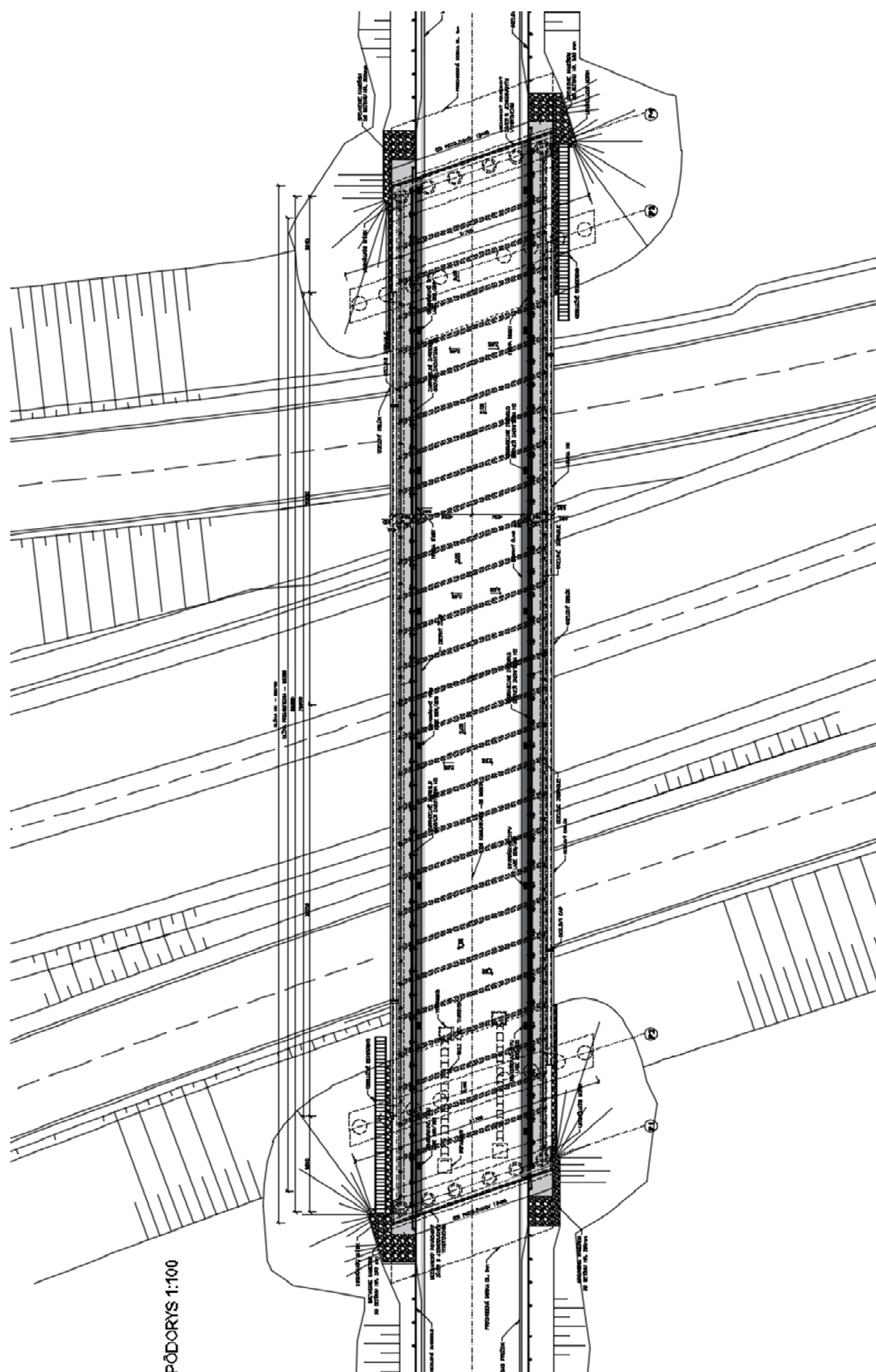
### 3.5 Schematické výkresy konštrukcie



Obr. 3.2: Schematický priečný rez konštrukcie







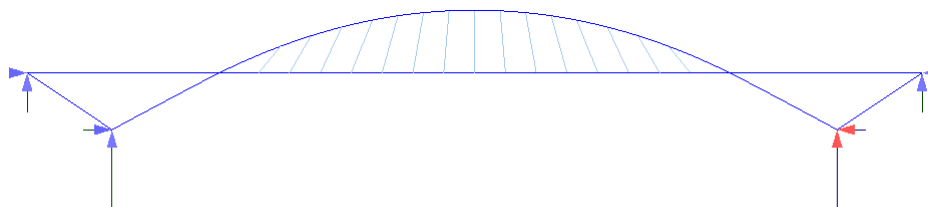
Obr. 3.4: Schematický pôdorys konštrukcie



## 4 NÁVRH NOSNÝCH PRVKOV PODĽA JEDNODUCHÝCH MODELOV

Táto práca sa zaoberá samo kotvenou oblúkovou konštrukciou. Tento návrh je výhodný z dôvodu prenesenia veľkých vodorovných síl z oblúku pomocou vzpier do konštrukcie mostovky.

Je všeobecne známe, že nie je jednoduché zostrojiť votknutý oblúk (práve pre komplikované prenesenie vodorovnej zložky zaťaženia) o to viac v nevhodných základových pomeroch. Práve preto bola vybraná táto varianta ktorá zaisťuje aby v základoch vznikali minimálne vodorovné sily. Na Obr. 4.1 je znázornená statická schéma použitého modelu.



Obr. 4.1: Statická schéma modelu

Tento systém má samozrejme aj svoje nevýhody. Je to hlavne vnesenie ťahu do mostovky čo má za následok komplikovanejší návrh výstuženia dosky alebo použitie drahých skrutkových spojok betonárskej výstuže. Komplikovanejšia je aj tvorba samotného výpočtového modelu.

Pri pohľade na Obr. 4.1 vieme aké účinky vnútorných síl môžeme očakávať. Napríklad vieme že trám bude po celej dĺžke ťahaný, vzpery budú namáhané tlakom, rovnako aj oblúk. Čo sa týka priebehu momentov, trám bude pôsobiť ako troj-pol'ový nosník ktorého kladné momenty budú znížené návrhom ťahadiel. V styku oblúku a trámu je na tráme očakávaný záporný moment. Na oblúku v styku očakávame moment kladný naopak vo votknutí očakávame moment záporný.

## 4.1 Predbežný návrh a posúdenie priečnikov

Predbežný návrh uvažuje so statickou schémou prostého nosníka, zaťaženého stálymi zaťažienami a účinkom dopravy.

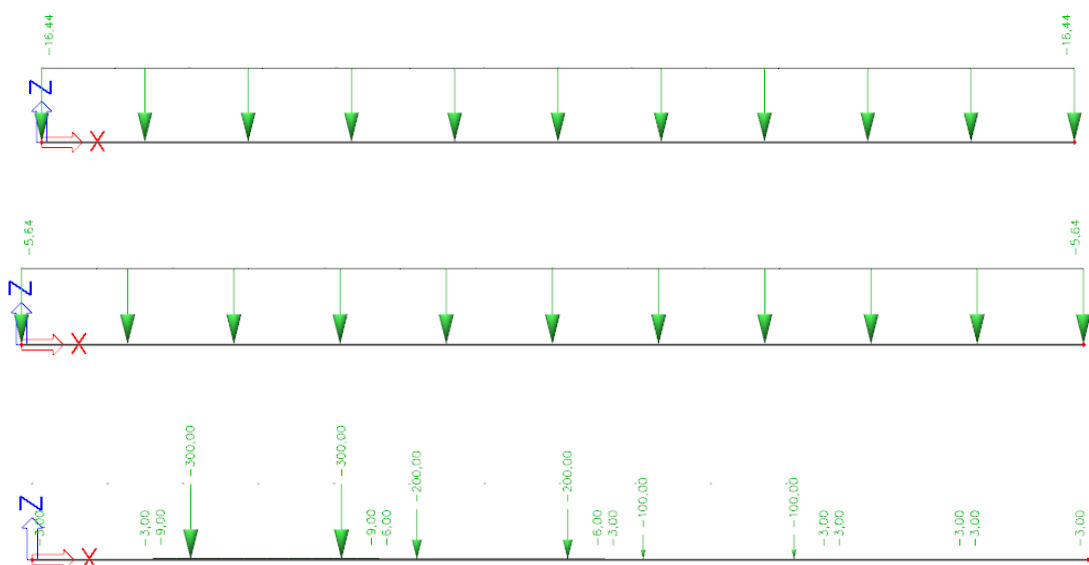
### Zaťaženie na priečnik

#### Stále - montážne

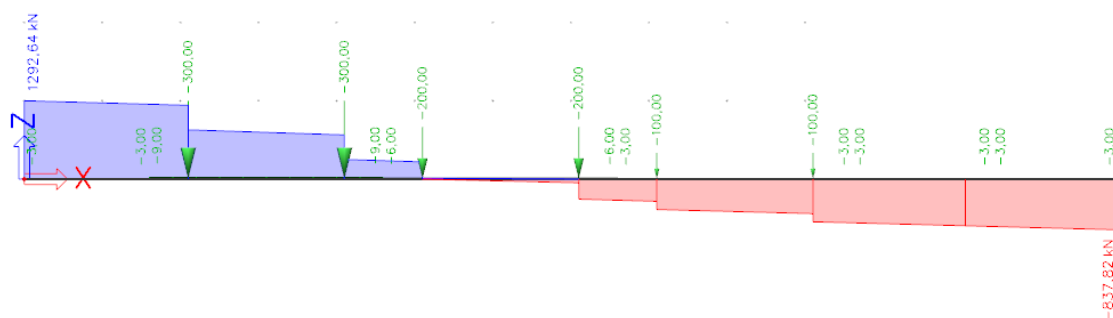
Popis	Hr. [mm]	Poznámka		obj. ťaž [kN/m³]	Char. Zať [kN/m]	Súčiniteľ γ	Návrhové [kN/m]
ŽB deska	200	vzd.		25	14,25	1,35	19,24
Oceľ. Trám		Pozdl obsah m²	2,85 0,033	78,5	2,59	1,35	2,96
Spolu				16,84		22,20	

#### Stále - ostatné

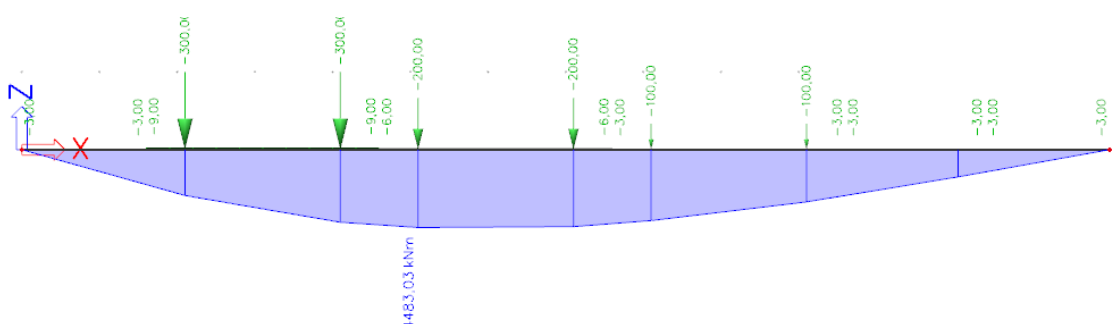
Popis	Hr. [mm]	Poznámka		obj. tiaž [kN/m <sup>3</sup> ]	Char. Zat' [kN/m]	Súčiniteľ $\gamma$	Návrhové [kN/m]
Vozovka	90	asfalt	MA 11 IV	22	5,64	1,35	7,62
Spolu					5,64		7,62



Obr. 4.2: Zaťaženia pôsobiace na priečnik



Obr. 4.3: Návrhová hodnota posouvající síly působící na prvek



Obr. 4.4: Návrhová hodnota ohybového momentu působícího na prvek

### Predbežný návrh ocelového nosníka pre medzný stav únosnosti

Výška stojiny:

$$h_w := 560 \text{ mm}$$

Šířka dolnej pásnice:

$$b_{f2} := 400 \text{ mm}$$

Hrúbka dolnej pásnice

$$t_{f2} := 45 \text{ mm}$$

Šířka hornej pásnice:

$$b_{f1} := 220 \text{ mm}$$

Hrúbka hornej pásnice

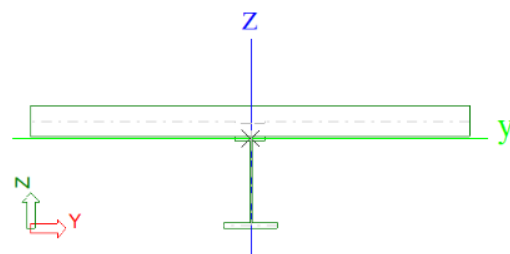
$$t_{f1} := 30 \text{ mm}$$

Hrúbka stojiny

$$t_w := 15 \text{ mm}$$

Celková výška nosníka:

$$h_n := h_w + t_{f1} + t_{f2} = 635 \text{ mm}$$



### Prierezové plochy jednotlivých častí nosníka:

Horný pás

$$A_{HP} := b_{f1} \cdot t_{f1} = 6600 \cdot \text{mm}^2$$

Stojina

$$A_S := h_w \cdot t_w = 8400 \cdot \text{mm}^2$$

Dolný pás

$$A_{DP} := b_{f2} \cdot t_{f2} = 18000 \cdot \text{mm}^2$$

Celková plocha nosníka:

$$A_a := A_S + A_{HP} + A_{DP} = 33000 \cdot \text{mm}^2$$

**Poloha neutrálnej osi ( vzdialenosť x od dolného okraja ocelového profilu):**

$$x_{a.d} := \frac{t_{f2} \cdot b_{f2} \cdot 0.5 \cdot t_{f2} + t_w \cdot h_w \cdot (0.5 \cdot h_w + t_{f2}) + t_{f1} \cdot b_{f1} \cdot (0.5 \cdot t_{f1} + h_w + t_{f2})}{A_a} = 219 \cdot \text{mm}$$

**Spolupôsobiaci šírka**

Odhad vzdialenosti sprahovacích trňov:  $b_0 := 150 \text{ mm}$

osová vzdialenosť nosníkov  $a_n := 2850 \text{ mm}$

vzdialenosť krajného nosníka od konca dosky  $a_k := 1400 \text{ mm}$

$$b_{e12} := \frac{L_n}{8} = 1.75 \text{ m}$$

$$b_{eff} := \min\left(2 \cdot \frac{L_n}{8}, 2850 \text{ mm}\right) = 2.85 \text{ m}$$

$$b_{eff} := \min\left(2 \cdot \frac{L_n}{8}, 2850 \text{ mm}\right) = 2.85 \text{ m}$$

**Návrhové pevnosti podľa Č SN EN 1994-2**

Materiálové súčinitele:  $\gamma_c := 1.5$   $\gamma_{M0} := 1.0$   $\gamma_{M1} := 1.0$

Betón C30/37  $f_{ck} := 30 \text{ MPa}$   $f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 20 \cdot \text{MPa}$   $E_{cm} := 32 \text{ GPa}$   
 $f_{cm0} := 10 \text{ MPa}$   $f_{ctm} := 2.9 \text{ MPa}$

Oceľ S420  $f_{yk} := 355 \text{ MPa}$   $f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 355 \cdot \text{MPa}$   $E_a := 210 \text{ GPa}$

**Zatriedenie prierezu na ohyb: stojina**

$$\beta_w := \frac{h_w}{t_w} = 37.33 \quad \xi_w := \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_{yd}}} = 0.81$$

$$\text{Trieda\_stojina} := \begin{cases} \text{"Trieda 1"} & \text{if } \beta_w \leq 72 \cdot \varepsilon \\ \text{"Trieda 2"} & \text{if } 72 \cdot \varepsilon \leq \beta_w \leq 83 \cdot \varepsilon \\ \text{"Trieda 3"} & \text{if } 83 \cdot \varepsilon \leq \beta_w \leq 124 \cdot \varepsilon \\ \text{"Trieda 4"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Trieda 1"}$$

**Predpoklad : neutrálna osa prechádza pásnicou oceľového nosníka:**

$$\text{vzdialenosť od vrchného líca pásnice: } x_2 := \frac{A_a \cdot f_{yd} - (b_{\text{eff}} \cdot 0.85 \cdot f_{cd} \cdot t_c)}{2 \cdot f_{yd} \cdot b_{f1}} = 12.96 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Posúdenie\_neutr\_osi} := \begin{cases} \text{"Prechádza pásnicou"} & \text{if } x_2 \leq t_{f1} \\ \text{"Neprechádza pásnicou"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Prechádza pásnicou"}$$

$$M_{\text{pl.Rd.2}} := f_{yd} \cdot \left[ b_{f1} \cdot t_{f1} \cdot \left( \frac{t_c}{2} + \frac{t_{f1}}{2} \right) + t_w \cdot h_w \cdot \left( t_{f1} + \frac{t_c}{2} + \frac{h_w}{2} \right) + b_{f2} \cdot t_{f2} \cdot \left( h_n - \frac{t_c}{2} - \frac{t_{f2}}{2} \right) - b_{f1} \cdot x_2 \cdot \left( \frac{t_c}{2} + \frac{x_2}{2} \right) \right]$$

$$M_{1\text{Sd}} = 4483 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

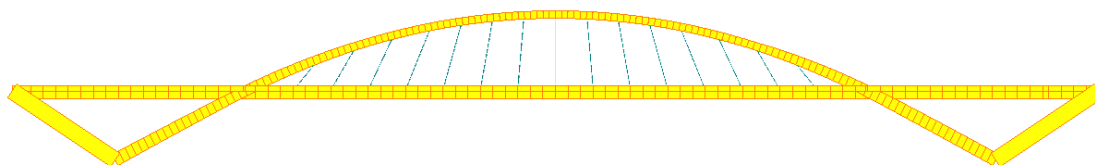
$$M_{\text{pl.Rd.2}} = 4659.13 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{Posúdenie\_ohyb} := \begin{cases} \text{"VYHOVUJE"} & \text{if } M_{\text{pl.Rd.2}} \geq M_{1\text{Sd}} \\ \text{"NEVYHOVUJE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"VYHOVUJE"}$$

$$\frac{M_{1\text{Sd}}}{M_{\text{pl.Rd.2}}} = 96.22 \cdot \%$$

## 4.2 Predbežný návrh a posúdenie oblúkov a pozdĺžnikov

Keďže ide o samokotvený systém nemôžeme modelovať samostatne oblúk a samostatne trám. Musí byť zachovaný pomer tuhostí oblúku a trámu, navyše je potrebné zohľadniť správne pôsobenie vodorovných síl. Predbežný návrh je vypracovaný pomocou jednoduchého 2D modelu pozostávajúceho z oblúka, trámu, ťahadiel a vzpier.



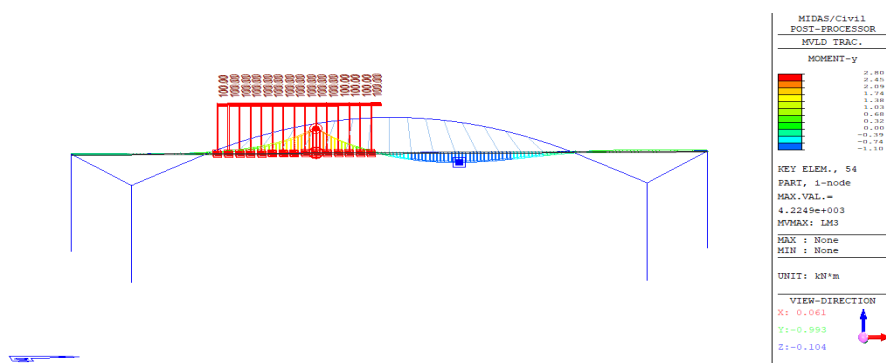
Obr. 4.5: Pohľad na rovinný model

### 4.2.1 Zaťaženie pôsobiace na model

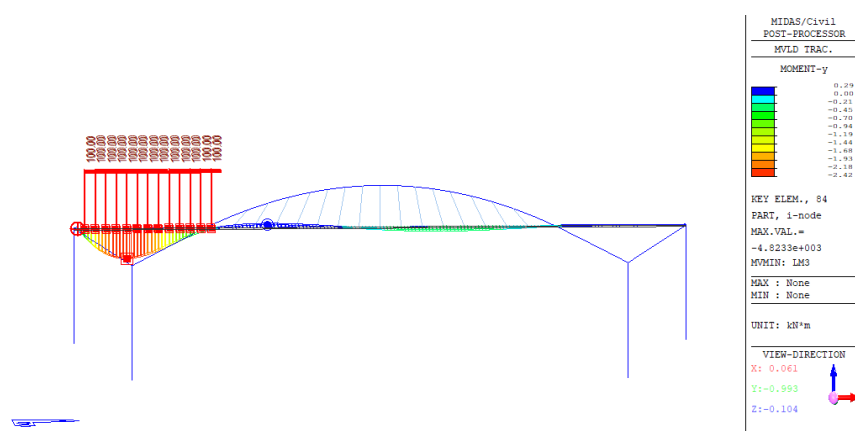
Na model pôsobí vlastná tiaž konštrukcie (vrátane tiaže pozdĺžnikov a dosky), ostatné stále zaťaženia ( rímsoy, vozovka zábradlie), zaťaženie od rovnomernej teploty a zaťaženie od dopravy.

Zaťaženia od vlastnej tiaže boli modelované pomocou bodových síl umiestnených v miestach priečnikov. Pri výpočte zaťažení bolo počítané s polovičnými hodnotami (2 oblúky) Ostatné stále zaťaženia boli modelované ako rovnomerné stále zaťaženie s hodnotami podľa Tab. 5.3.

Dopravu charakterizuje Load model 3 (špeciálne vozidlo 3000/200). Pre určenie najnepriaznivejšej polohy zaťaženia boli použité vplyvové čiary. Ďalej bolo potrebné uvážiť že v reálnej konštrukcii sa na prenesení dopravy v každom prípade bude podieľať aj druhý pozdĺžnik. Podiel preneseného zaťaženia na druhý pozdĺžnik bol odhadnutý na 35%. Dopravné zaťaženie bolo teda modelované  $0,65 \times LM\ 3$ .



Obr. 4.6: Poloha dopravy - max My



Obr. 4.7: Poloha dopravy - min My

## 4.2.2 Zatřazovací stavy rovinného modelu

o	Name	Type	Description
	g0_1	Dead Load (D)	Vlastna_tiaz_MIDAS
	Beton doska	Dead Load (D)	Tiaz ZB dosky
	g1	Dead Load (D)	Ostatne_stale
	RZT+	Temperature (T)	Rovnomerna zmena teploty+
	RZT-	Temperature (T)	Rovnomerna zmena teploty-
	Doprava_max-My	User Defined Load (USER)	
	Doprava_min-My	User Defined Load (USER)	

### 4.2.3 Kombinácie

Kombinácie vlastnej tiaže a ostatných stálych zaťažení a zaťaženia dopravou:

$$C01: 1,35 \times (ZS1 + ZS2 + ZS3) + 1,35 \times ZS6$$

$$C02: 1,35 \times (ZS1 + ZS2 + ZS3) + 1,35 \times ZS7$$

Kombinácie vlastnej tiaže a ostatných stálych zaťažení, zaťaženia teplotu a zaťaženia dopravou:

$$C03: 1,35 \times (ZS1 + ZS2 + ZS3) + 0,9 \times ZS6 + 0,6 \times ZS4$$

$$C04: 1,35 \times (ZS1 + ZS2 + ZS3) + 0,9 \times ZS7 + 0,6 \times ZS5$$

### 4.2.4 Návrhové hodnoty vnútorných síl

Prvok			C01	C02	C03	C04
Pozdĺžnik	N	max	5355	3544	2584	4895
		min	957	676	-46	2490
	My	max	3490	3624	2515	2913
		min	-4093	-6808	-3464	-5406
Oblúk	N	max	-7408	-4856	-6685	-4811
		min	-13179	-8787	-10049	-8171
	My	max	3263	2932	2653	2321
		min	-2767	-3193	-2631	-2681



## 4.2.5 Oblúk

### 1. Materiál

ocel:	S355
$f_y$	335 MPa
$f_u$	470 MPa
$E$	210000 MPa
$G$	80769 MPa
$\nu$	0,30 -

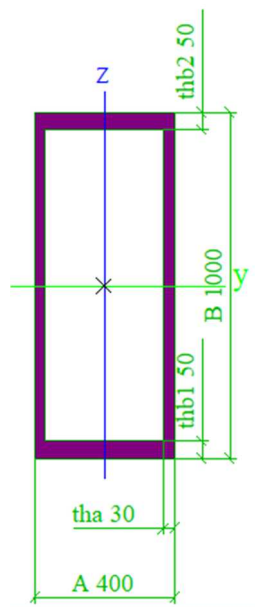
beton:	C30/45
$f_{ck}$	30 MPa
$E_{cm}$	32000 MPa

### Parciálne súčinitele

$\gamma_{M0}$	=	1,00
$\gamma_{M1}$	=	1,00
$\gamma_c$	=	1,50
$\gamma_s$	=	1,15

### 2. Geometria prierezu

$b$	0,400 mm	(šírka)
$h$	1,000 m	(výška)
$t_{fl}$	0,0500 m	(pásnica)
$t_w$	0,0300 m	(stena)
$h_{w,y}$	0,9000 m	
$h_{w,z}$	0,34 m	



### 3. Zatriedenie prierezu

Steny:  $\rightarrow c_w/t_w = 30,00$

Pásnice:  $\rightarrow (c_f/t_f) = 6,80$   
 $\varepsilon = 0,8376$

$\rightarrow$ trieda	1	(ohyb)	(72,83,124)
$\rightarrow$ trieda	2	(tlak)	(33,38,42)
$\rightarrow$ trieda	1	(ohyb)	(72,83,124)
$\rightarrow$ trieda	1	(tlak)	(33,38,42)
$\rightarrow$ TRIEDA	2	(zatriedenie)	

### 4. Prierezove charakteristiky

Oceľ	Betón
$A = 0,0940 \text{ m}^2$	$A = 0,3060 \text{ m}^2$
$A_{V,y} = 0,0340 \text{ m}^2$	$A_{V,y} = 0,3060 \text{ m}^2$
$A_{V,z} = 0,0540 \text{ m}^3$	$A_{V,z} = 0,3060 \text{ m}^3$
$I_y = 0,01268 \text{ m}^4$	$I_y = 0,02066 \text{ m}^4$
$W_{y,el} = 0,02536 \text{ m}^3$	$W_{y,el} = 0,04590 \text{ m}^3$
$W_{y,pl} = 0,03115 \text{ m}^3$	$W_{y,pl} = 0,06885 \text{ m}^3$
$i_y = 0,36725 \text{ m}$	$i_y = 0,25981 \text{ m}$
$z_y = 0,50000 \text{ m}$	$z_y = 0,45000 \text{ m}$
$I_z = 0,00239 \text{ m}^4$	$I_z = 0,00295 \text{ m}^4$
$W_z = 0,01193 \text{ m}^3$	$W_z = 0,00655 \text{ m}^3$
$W_{z,pl} = 0,01399 \text{ m}^3$	$W_{z,pl} = 0,02601 \text{ m}^3$
$i_z = 0,1593 \text{ m}$	$i_z = 0,0981 \text{ m}$

## 5. Vnútorné sily

(Návrhové hodnoty - rozhodujúce kombinácie)

		$N_{Ed}$	$V_{y,Ed}$	$M_{y,Ed}$
		[kN]	[kN]	[kNm]
min. N, odp. My		-13179	178	2173
max. My, odp. N		-7444	-599	3264
rozhodujúca		-13179	178	2173

## 6. Posudok sprážený profil

### Overenie lokálneho vydúvania

$$\max(h/t) \leq 52\varepsilon$$

$$20 < 43,55 \quad \text{► Nevydúva sa}$$

### Overenie použiteľnosti ustanovenia 6.7.3.2 normy 1994-2

Príspevok oceli:

$$\delta = A_a \times f_{yd} / N_{pl,Nd} \quad (6.38) \quad [10]$$

$$= 0,840 \quad \text{► Splňuje podmienku}$$

### Tlak

$$N_{pl,Rd} = A_a \times f_y / \gamma_a + A_c \times 0,85 f_{ck} / \gamma_c + A_s \times f_{sk} / \gamma_s \quad (6.30) \quad [1994-2]$$

$$= 32585 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 40 \% \quad \text{► Vyhovuje}$$

$$\text{súčiniteľ: } = 0,85 \text{ (prierezy vypl.bet. je možné uvažovať 1,0)}$$

### Ohyb

$$x = A_a - 2 \times b_a \times t_f / 4 t_w + b_c \times (f_{ck} / f_{yd})$$

$$M_{pl,Rd} = (1/2 \times A_a \times (h_c - x) + b_a \times t_w (x + t_w)) \times f_{yd}$$

$$x_y = 0,386 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd,y} = 9576,319 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} / M_{pl,Rd,y} = 23 \% \quad \text{► Vyhovuje}$$

## Overenie vzperu prutu

Pomerná štíhlost' v rovine vybočenia:

(z-z) - krivka vzpernosti c

$$\begin{aligned}\chi &= 0,656 \\ \varphi &= 0,977 \\ \lambda_- &= \sqrt{(N_{pl,Rk} / N_{cr})} & (6.39) & [10] \\ &= 0,809\end{aligned}$$

Charakteristická hodnota plastickej únosnosti v tlaku:

$$N_{pl,Rk} = 39293 \text{ kN}$$

Pružná kritická sila pre odpovedajúci tvar vybočenia:

(z-z)

$$N_{cr} = 60026 \text{ kN}$$

$$N_{cr,eff} = 53485 \text{ kN}$$

$$L_{cr} = 9,36 \text{ m}$$

Účinná ohybová  
tuhosť:

$$\begin{aligned}(EI)_{eff} &= E_a \times I_a + E_s \times I_s + E_{cm} \times I_c & (6.40) & [10] \\ &= 5,3E+14 \text{ Nmm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(EI)_{eff,l} &= K_0 \times (E_a \times I_a + E_s \times I_s + K_{e,l} \times E_{cm} \times I_c) & (6.42) & [10] \\ &= 4,7E+14 \text{ Nmm}^2\end{aligned}$$

Opravný súčiniteľ:

$$K_e = 0,6$$

$$K_{e,l} = 0,5$$

Kalibračný súčiniteľ:

$$K_0 = 0,9$$

Vplyv dlhodobých účinkov:

$$\begin{aligned}E_{c,eff} &= E_{cm} \times 1 / (1 + N_{G,Ed} / N_{Ed}) \times \phi_t) & (6.41) & [10] \\ &= 18018,2 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$N_{G,Ed} = 6818,00 \text{ kN} \quad (\text{stála zložka normálovej sily})$$

$$\phi_t = 1,5$$

Tlak s vplyvom  
vzperu:

$$\begin{aligned}N_{Ed} / (\chi \times N_{pl,Rd}) &\leq 1 & (6.44) & [10] \\ 0,62 &\leq 1 & \blacktriangleright \text{Vyhovuje}\end{aligned}$$

## 4.2.6 Pozdlžník

### 1.

#### Materiál

ocel: S355  
 $f_y = 355$  MPa  
 $f_u = 490$  MPa  
 $E = 210000$  MPa  
 $G = 80769$  MPa  
 $\nu = 0,30$  -

#### Parciálne súčinitele

$\gamma_{M0} = 1,00$   
 $\gamma_{M1} = 1,00$   
 $\gamma_c = 1,50$   
 $\gamma_s = 1,15$

### 2. Geometria

#### prierezu

$b_{f1} = 0,765$  m  
 $t_{f1} = 0,0400$  m  
 $h_w = 0,890$  m  
 $t_w = 0,0300$  m  
 $b_{f2} = 0,4750$  m  
 $t_{f2} = 0,0400$  m

### 3. Zatriedenie

#### prierezu

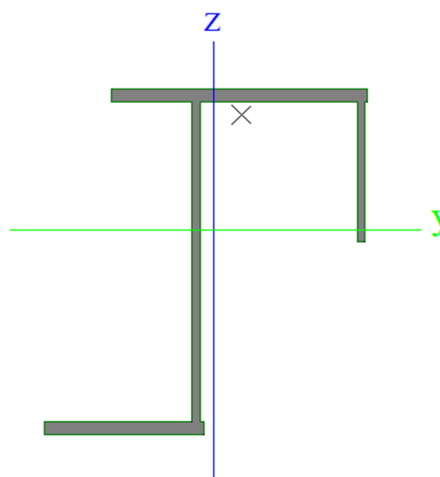
$\varepsilon = 0,8136$

Stena:  $c_w/t_w = 29,67$  → **trieda 1** (ohyb) (72,83,124)  
 → **trieda 2** (tlak) (33,38,42)  
 Pásnice:  $(c_{f1}/t_{f1}) = 12,50$  → **trieda 1** (ohyb) (72,83,124)  
 →  $(c_{f2}/t_{f2}) = 11,88$  → **trieda 1** (tlak) (33,38,42)  
 → **TRIEDA 2** (zatriedenie)

### 4. Prierezove charakteristiky

#### Oceľ

$A = 0,0829$  m<sup>2</sup>  
 $A_{v,y} = 0,0760$  m<sup>2</sup>  
 $A_{v,z} = 0,0380$  m<sup>3</sup>  
 $I_y = 0,01512$  m<sup>4</sup>  
 $W_{y,el} = 0,02374$  m<sup>3</sup>  
 $W_{y,pl} = 0,03122$  m<sup>3</sup>  
 $i_y = 0,42713$  m  
 $z_y = 0,35300$  m  
 $I_z = 0,00516$  m<sup>4</sup>  
 $W_z = 0,01027$  m<sup>3</sup>  
 $W_{z,pl} = 0,01509$  m<sup>3</sup>  
 $i_z = 0,2496$  m



## 5. Vnútorné sily

(Návrhové hodnoty - rozhodujúce kombinácie)

		$N_{Ed}$	$V_{y,Ed}$	$M_{y,Ed}$
		[kN]	[kN]	[kNm]
max. N, odp. My		5355	259	328
max. My, odp. N		3153,69	1781,51	-6808
rozhodujúca		3153,69	1781,51	-6808

## 6. Únosnosť prierezu - oceľový profil

### Tlak

$$N_{c,Rd} = A_a \times f_y / \gamma_a \quad (6.10) \quad [6]$$

$$= 29417 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / N_{c,Rd} = 11 \% \quad \blacktriangleright \text{Vyhovuje}$$

### Ohyb

$$M_{Rd} = W \times f_y / \gamma_{M0} \quad (6.12) \quad [6]$$

$$M_{el,Rd,y} = 8429 \quad (\text{trieda 3})$$

$$M_{pl,Rd,y} = 11082 \text{ kNm} \quad (\text{trieda 1,2})$$

$$M_{y,Ed} / M_{pl,Rd,y} = 81 \% \quad \blacktriangleright \text{Vyhovuje}$$

### Šmyk

$$V_{pl,Rd} = A_v \times (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_a \quad (6.18) \quad [6]$$

$$V_{pl,Rd,y} = 15571 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} / V_{pl,Rd,y} = 11 \% \quad \blacktriangleright \text{Vyhovuje}$$

Interakcia ohybu a šmyku:

$$V_{y,Ed} \leq 0,5 \times V_{c,Rd}$$

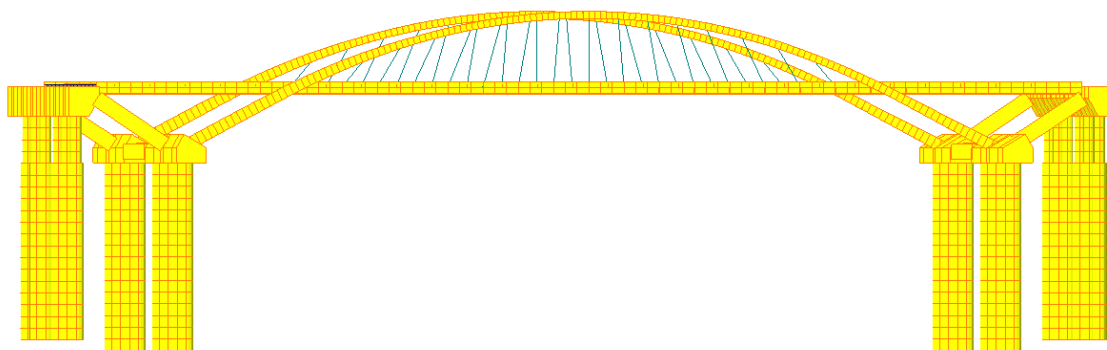
$$1782 \leq 7785 \quad \blacktriangleright \text{Zanedbáva sa}$$

## 5 CHARAKTERISTIKA VÝPOČTOVÉHO MODELU (PRIESTOROVÝ MODEL S FUNKCIOU TDA)

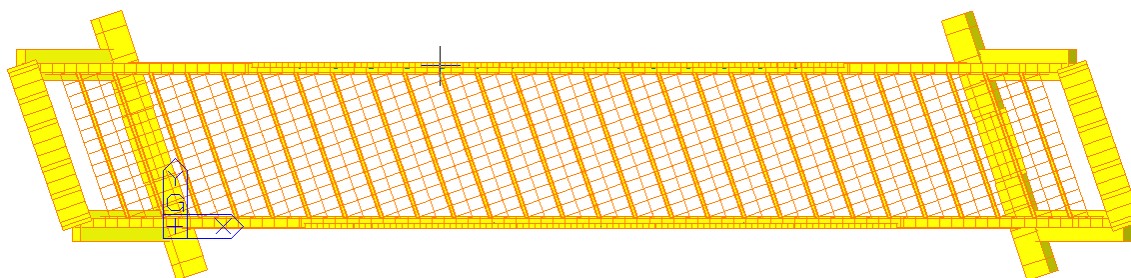
### 5.1 Základné dáta

Konštrukcia	3D
Počet konštrukčných skupín	45
Počet skupín okrajových podmienok	42
Počet zaťažovacích skupín	25
Počet uzlov	3551
Počet prútov	1596
Počet plošných prvkov	2464
Počet materiálov	7
Počet časovo závislých materiálov	3
Počet prierezov	20
Počet pevných podpôr	28
Počet pružných podpôr	512
Počet tuhých väzieb	96
Počet kĺbov	12
Počet zaťažovacích stavov	36
Počet zaťažovacích stavov pre pojazd	6
Počet fáz výstavby	13
Tiažové zrýchlenie [m/sec <sup>2</sup> ]	10
Verzia	Midas Civil 2019

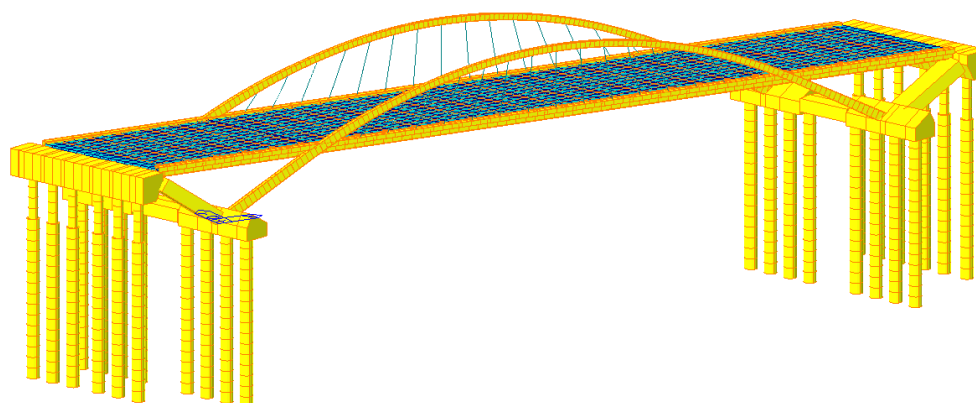
### 5.2 Geometria modelu



Obr. 5.1: Pohľad na most



*Obr. 5.2: Pohľad na oceľovú konštrukciu*



*Obr. 5.3: Axonometria*

## 5.3 Materiál

*Tab. 5.1: Materiály použité v priestorovom modeli*

ID	Name	Elasticity (kN/m <sup>2</sup> )	Poisson	Thermal (1/[C])	Density (kN/m <sup>3</sup> )	Material Type
1	C30/37	3.2000e+007	0.2	1.0000e-005	2.5000e+001	Isotropic
2	ortotropny_30/37	1.0000e-003	0	1.2000e-005	0.0000e+000	Orthotropic
3	SRC	2.1000e+008	0.3	1.2000e-005	7.8500e+001	Isotropic
4	Dummy	3.2000e+007	0.2	1.0000e-005	0.0000e+000	Isotropic
5	S460	2.0500e+008	0.3	1.2000e-005	7.8500e+001	Isotropic
6	S355	2.1000e+008	0.3	1.2000e-005	7.8500e+001	Isotropic

## 5.4 Prierezy

Charakteristika prierezov je súčasťou prílohy P1.

## 5.5 Zaťažovacie stavy použité vo výpočtovom modeli

Tab. 5.2: Zaťažovacie stavy pre vyhodnotenie namáhání vo výpočtovom modeli

No		Názov	Typ	Popis
1	g0_1		Dead Load (D)	Vlastna_tiaz_MIDAS
2	g0_2		Dead Load (D)	Dodatok od vystuh
3	g1		Dead Load (D)	Ostatne_stale
4	p1		Prestress (PS)	Predpatie
5	Beton obluk		Dead Load (D)	Betonaz oblukov
6	Beton doska		Dead Load (D)	Betonaz dosky
7	Vietor_pravy		Wind Load on Structure (W)	Vietor z pravej strany
8	Vietor_lavy		Wind Load on Structure (W)	Vietor z lavej strany
9	NZT+		Temperature (T)	Nerovnomerna zmena teploty+
10	NZT-		Temperature (T)	Nerovnomerna zmena teploty-
11	RZT+		Temperature (T)	Rovnomerna zmena teploty+
12	RZT-		Temperature (T)	Rovnomerna zmena teploty-
13	LM1 - max		Live Load (L)	Zatazenie automobilovou dopravou
14	LM1 - min		Live Load (L)	Zatazenie automobilovou dopravou
15	LM3 - max		Live Load (L)	Zatazenie zvláštým vozidlom
16	LM3 - min		Live Load (L)	Zatazenie zvláštým vozidlom
17	LM4 - max		Live Load (L)	Zatazenie davom ľudí
18	LM4 - min		Live Load (L)	Zatazenie davom ľudí
19	Chodník pravý		Live Load (L)	Zatazenie chodcami a cyklistami
20	Chodník ľavý		Live Load (L)	Zatazenie chodcami a cyklistami
21	Brzdne sily		Braking Load (BRK)	Brzdne sily
22	Rozjazdove sily		Braking Load (BRK)	Brzdne sily
23	Priečný naraz_pravy		Vehicular Collision Force (CT)	Priečný naraz do praveho obluku
24	Priečný naraz_lavy		Vehicular Collision Force (CT)	Priečný naraz do laveho obluku
35	Pozdĺžny naraz_pravy		Vehicular Collision Force (CT)	Pozdĺžny naraz do praveho obluku
36	Pozdĺžny naraz_lavy		Vehicular Collision Force (CT)	Pozdĺžny naraz do laveho obluku

Tieto zaťažovacie stavy boli použité pre posúdenie fázovanej výstavby a pre hľadanie najúčinnejšej zaťažovacej skupiny. Neslúžia pre výslednú tvorbu kombinácií!!



## 5.6 Založení a spodná stavba

### 5.6.1 Piloty

Koncový priečnik je založený na pilotách o priemere 1200mm. Piloty integrovaných opôr (koncových priečnikov) sú navrhnuté šírkovou úpravou koncovej dĺžky piloty v rozsahu 4m, kde je šírka piloty zúžená z 1200mm na 900mm pre umožnenie lepšej pozdĺžnej deformovateľnosti mosta od prenášania vodorovných oblúkových síl. Táto sila je prenášaná pomocou betónových vzpier do betónového priečnika. Preto sú tieto piloty navrhnuté ako ťahané. Priradenie tuhosti na piloty bolo prevedené automaticky programom Midas Civil pomocou funkcionality Integral Bridge kde bol softwaru priradený:

typ podložia : tuhý až pevný íl

priemer piloty : 0,9 a 1,2 m

objemová hmotnosť zeminy : 20,41 kN/m<sup>3</sup>

koeficient zemného tlaku : 0,4

koeficient reakcie podložia : 23 000 kN/m<sup>3</sup> (pre piloty 0,9 m)

: 18 000 kN/m<sup>3</sup> (pre piloty 1,2 m)

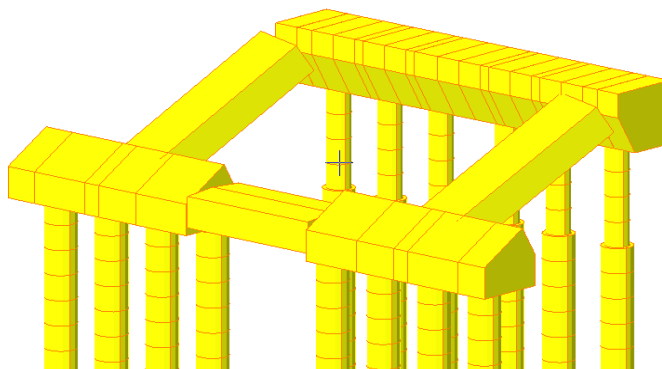
šmyková pevnosť zeminy : 18 kN/m<sup>2</sup>

Software následne dopočítal tuhosti pre nelineárne podpory v zvislom aj vodorovnom smere. Výpočet správnych hodnôt tuhosti je pri integrovaných mostoch veľmi dôležitý. Vylúčením ložisiek síce znížime výrobné a prevádzkové náklady ale na druhej strane prenesieme všetky posuny a natočenia do spodnej stavby. Pri teplotnom rozťahovaní sú teda opery zatlačované do priľahlej zeminy. Použitie pružných podpôr je preto nevyhnutnosťou.

Piloty v pätkách oblúkov boli navrhnuté priemeru 1200mm a dĺžky 16m ako tlačené piloty. Tuhosť vo vodorovnom a priečnom smere bola spočítaná obdobne ako pre piloty priečnikov. Materiál pilot bol navrhnutý ako izotropický betón C30/37 s modulom pružnosti 32 GPa a Poissonovým súčiniteľom 0,2. Po prevedení výpočtu boli získané hodnoty sadnutia pilot ako aj ohybové momenty a normálové sily potrebné pre posúdenie pilot. Tento posudok však nie je súčasťou tejto práce.

## 5.6.2 Spodná stavba

Prvky spodnej stavby boli modelované ako obecné prútové prierezy. Tieto prvky sú z izotopického betónu C30/37 s modulom pružnosti 32GPa a Poissonovým súčiniteľom 0,2. Objemová hmotnosť betónu bola uvažovaná 25 kN/m<sup>3</sup>. Spojenie spodnej stavby s mostovkou bolo prevedené pomocou funkcionality Elastic link typ Rigid.



Obr. 5.4: Podľad na spodnú stavbu

## 5.7 Oceľová nosná konštrukcia

### 5.7.1 Geometria oblúku

Strednica oblúku bola navrhnutá tak, aby bola konštrukcia namáhaná čo najmenšími ohybovými momentami. Strednicový tvar bol určený pomocou priameho nosníka s rovnakou dĺžkou ako má oblúk. Tento nosník bol následne zaťažený vlastnou tiažou oblúku a mostovky a stálymi zaťažzeniami pôsobiacimi na mostovku.

Oblúk má potom tvar momentového obrazca získaného pritlačením nosníka. Moment bol následne vydelený vzopätím oblúku. Vypočítaným pomerom sa nakoniec podelila každá momentová hodnota v požadovanom mieste pre získanie zvislej súradnice oblúku.

$$h = \frac{M_{max}}{f}$$

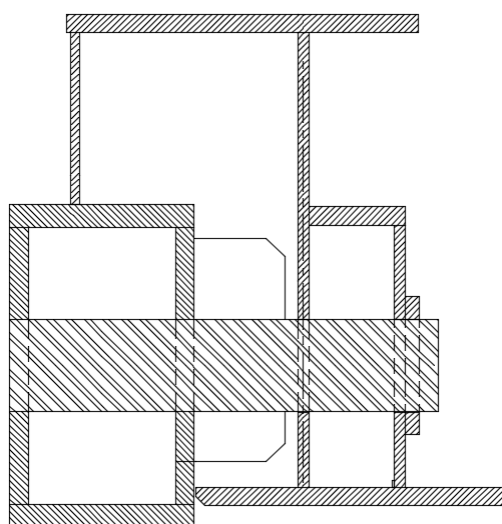
$$z_i = \frac{M_i}{h}$$

Súradnice oblúku boli spracované pomocou tabelátorovho editora Excel a následne importované do AutoCADu.

## 5.7.2 Ocel'ová nosná konštrukcia

Ocel'ová časť mostovky tvoria 2 pozdĺžniky a 27 priečnikov, ktoré podporujú železobetónovú dosku. Pre ocel'obetónové mosty sa dáva prednosť výberu konštrukčnej oceli S 355, preto bola táto ocel' navrhnutá aj pre tento projekt. Prierez pozdĺžnikov bol navrhnutý ako nesymetrický I profil s vonkajším krycím plechom. Priečniky boli navrhnuté ako jednoosovo symetrické I profily. Priečniky budú k pozdĺžnikom privarené avšak tento spoj určite nie je schopný zabezpečiť rotačnú tuhosť votknutého spoja. Podľa ČSN EN 1994-2 sa použitie polotuhých spojov v rámci mostného staviteľstva nepoužíva, preto sa predpokladá kĺbové pôsobenie priečnikov.

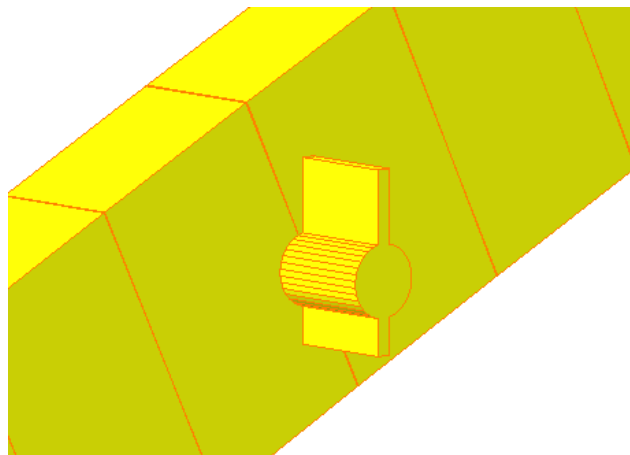
Prierezy oblúkov boli navrhnuté ako truhlicové so zvyšujúcou sa výškou pod úrovňou pozdĺžnikov pre lepšie prenesenie zväčšujúcich sa hodnôt vnútorných síl smerom k votknutiu. Návrh premenného prierezu oblúka má určite aj svoje architektonické opodstatnenie. Súčasťou oblúkov sú aj čapy ktoré sú do oblúka votknuté. V priebehu montáže je čap do pozdĺžnika vložený a sú mu povolené pootočená a na záver montáže bude oblúk s pozdĺžnikom v celej ploche styku zvarovaný. V prvej fáze výstavby bude oblúk s pozdĺžnikom pôsobiť ako votknutie-kĺb a finálna statická schéma je votknutie-votknutie.



Obr. 5.5: Predbežný návrh spoja pomocou čapu

Styková plocha oboch prvkov je pomerne malá preto môžeme predpokladať lokálne namáhanie oboch prierezov. V globálnom modeli nie je uvažované so spojením stredníc prútov, čo by malo za následok mierne prerozdelenie vnútorných síl a zanedbanie účinku

krútenia ( $M_x$ ) ale je použitý spoj pomocou čapu s excentricitou 300 mm ktorý spája tieto prvky.



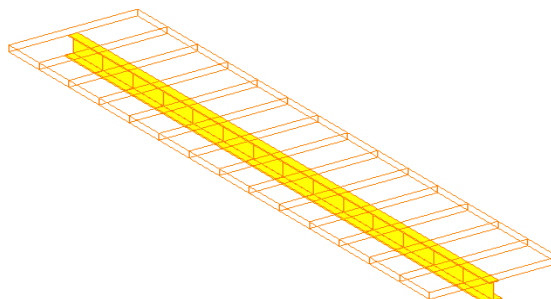
Obr. 5.6: Spojenie oblúka s pozdĺžnikom vo výpočtovom modeli

Pri výpočte môžeme teda očakávať kladnú momentovú špičku z bodového prenesenia zaťaženia mostovky do oblúka. Reálne napätie bude samozrejme vplyvom ovarenia prvkov nižšie čo sa prejaví v posudku tohto spoja v ďalších kapitolách.

Závěsy sú navrhnuté ako systémové tyčové ťahadlá Macalloy M64 z ocele S460. Spojenie tyčových ťahadiel s oblúkom aj pozdĺžnikom pôsobí kĺbovo.

Spriahnutie priečnikov s mostovkou je modelované dvoma spôsobmi.

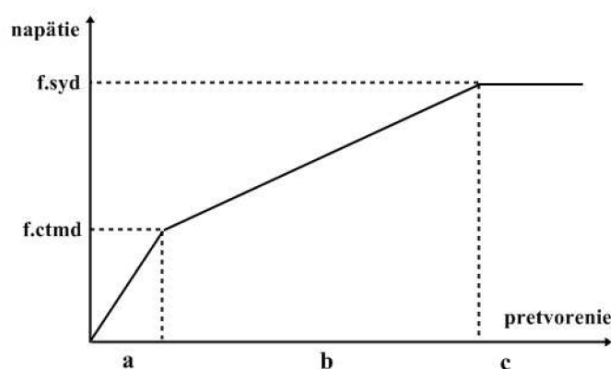
Prvý model využíva fázovabný prierez s TDA analýzou a poskytuje ako prierezové charakteristiky samotného oceľového prierezu tak aj spriahnutého prierezu. Efektívna šírka priečnikov bola spočítaná automaticky.



Obr. 5.7 Nesymetrický I nosník spriahnutý s ŽB doskou

Tuhosť dosky v smere kolmom na spriahnutý nosník bola vystihnutá pomocou namodelovania ortotropnej ŽB dosky s nulovou hmotnosťou. Tuhostné charakteristiky dosky teda pôsobili iba v smere kolmom na nosník. Tuhosť dosky v smere nosníka zabezpečuje samotný spriahnutý prierez. Namodelovaním tejto dosky bolo zabezpečené spolupôsobenie jednotlivých spriahnutých priečnikov, respektíve pri postavení zaťaženia na kraj jedného nosníka by sa zaťaženie prenášalo na oba nosníky.

Po prebehnutí výpočtu bolo vidieť že tuhosť betónu preberala časť ťahových síl z mostovky. Betón mostovky však pôsobí v ťahu iba do dosiahnutia medze pevnosti betónu v ťahu  $f_{ctmd}$ . Bolo by preto potrebné uvážiť nelineárne správanie sa betónu pomocou použitia pracovného diagramu betónu v ťahu. Je možné použiť napríklad Izotropný pružne plastický materiál so spevnením podľa Drucker-Pragera, ktorý sa používa pre vystužený betón.



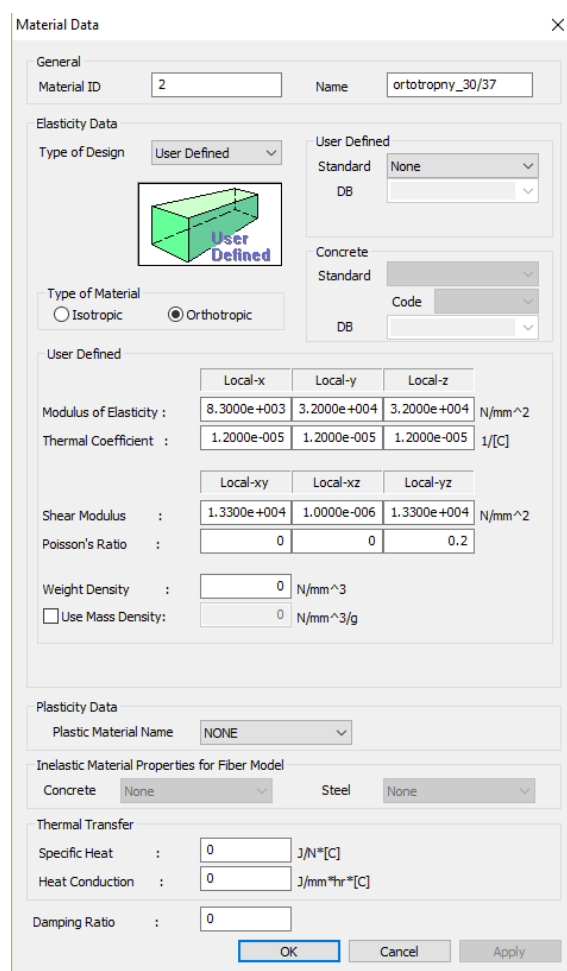
Obr. 5.8 : Pružne plastický diagram so spevnením [22]

V oblasti „a“ betón nedosiahne medzu pevnosti v ťahu  $f_{ctmd}$  a pôsobí s modulom pružnosti  $E=32$  GPa. Po prekročení  $f_{ctmd}$  sa tuhosť železobetónovej dosky zmení v závislosti od vystuženia konštrukcie. Toto vyjadruje oblasť „b“. Nakoniec, po vyčerpaní únosnosti výstuže (oblasť „c“) sa deformácie rozvíjajú plasticky a tuhosť je nulová. [22]

Problém je však s určením hodnoty spevnenia, respektíve s odhadom výšky v ktorej betón popraská. Preto bola konzervatívne v pozdĺžnom smere namodelovaná iba tuhosť výstuže. Zanedbanie má za následok mierne zvýšenie normálovej sily v pozdĺžniku.

Tento model bol použitý pre posudok priečnikov v programe Midas Civil. Tento posudok si vyžaduje použitie práve tohto kompozitného prierezu.

V druhom modeli bola ŽB doska modelovaná pomocou doskostien rovnako s ortotropnými vlastnosťami. V pozdĺžnom smere je doska „potrhaná“ teda uvažuje sa s popraskaním betónu a pôsobí rovnako iba výstuž. Model bol použitý na celkové overenie.



The screenshot shows the 'Material Data' dialog box for a material named 'ortotropny\_30/37'. The 'General' tab is active, showing 'Material ID' as 2 and 'Name' as 'ortotropny\_30/37'. Under 'Elasticity Data', 'Type of Design' is 'User Defined'. A 3D diagram of a rectangular prism is shown with 'User Defined' text. 'Type of Material' is set to 'Orthotropic'. The 'User Defined' section contains the following data:

	Local-x	Local-y	Local-z	
Modulus of Elasticity :	8.3000e+003	3.2000e+004	3.2000e+004	N/mm <sup>2</sup>
Thermal Coefficient :	1.2000e-005	1.2000e-005	1.2000e-005	1/[C]
	Local-xy	Local-xz	Local-yz	
Shear Modulus :	1.3300e+004	1.0000e-006	1.3300e+004	N/mm <sup>2</sup>
Poisson's Ratio :	0	0	0.2	
Weight Density :	0			N/mm <sup>3</sup>
<input type="checkbox"/> Use Mass Density :	0			N/mm <sup>3</sup> /g

Below the 'User Defined' section, 'Plasticity Data' shows 'Plastic Material Name' as 'NONE'. 'Inelastic Material Properties for Fiber Model' shows 'Concrete' as 'None' and 'Steel' as 'None'. 'Thermal Transfer' shows 'Specific Heat' as 0 J/N\*[C] and 'Heat Conduction' as 0 J/mm\*hr\*[C]. 'Damping Ratio' is 0. The 'OK', 'Cancel', and 'Apply' buttons are at the bottom.

Obr. 5.9: Ortotropné vlastnosti betónu použité v modeli

Modelovanie ortotropnej dosky ako takej má však väčší význam pri modelovaní mostov s pozdĺžnymi spriahnutými nosníkmi. Tu by mohlo dôjsť k chybe určenia odozvy napríklad pri postavení zaťaženia iba nad jedným z nosníkov. Bez pridania ortotropnej dosky by nosníky nespôľupôsobili a všetko zaťaženie by preberal iba jeden nosník.

Po prebehnutí výpočtu boli získané hodnoty vnútorných síl a aj hodnoty napätí pre jednotlivé úseky prierezov.

## 5.8 Zat'azenie

V tejto kapitole sú vypísané všetky zat'azenia použité pre výpočet. Časť bola použitá pre predbežný návrh prvkov. Pri zat'azovaní numerického modelu boli použité všetky tieto zat'azenia.

### 5.8.1 Stále zat'azenia

Vlastná tiaž konštrukcie je stanovená programom Midas Civil, ktorý počíta s objemovou tiažou oceli  $\gamma = 78,50 \text{ kN/m}^3$ . Objemová tiaž betónu je uvažovaná hodnotou  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ . Program počíta vlastnú tiaž prvkov automaticky podľa zadaných prierezov. Stále zat'azenia sú určené v súlade s normou [5].

#### Dodatočné prit'azenie oceľových prvkov

- prit'azenie výstuhami – uvažované 20% z vlastnej tiaže uvažovaných prierezov  
oblúky – 0,783 kN/m  
pozdĺžniky – 1,299 kN/m
- prit'azenie mokrým betónom  
Betón oblúku – premenný; priemer 5,482 kN/m

### 5.8.2 Ostatné stále zat'azenie

Tab. 5.3: Ostatné stále zat'azenie

Druh		hrúbka [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$g_{k,plocha}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	šírka [m]	$g_{k,línia}$ [kN/m]	$\gamma_d$ [-]	$g_{d,plocha}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_{d,línia}$ [kN/m]
Rímsa	ľavá	0,260	25	6,500	1,25	8,125	1,35	8,775	10,969
	pravá	0,260	25	6,500	1,25	8,125	1,35	8,775	10,969
Zvodidlo	ľavé					1,500	1,35		2,025
	pravé					1,500	1,35		2,025
Zábradlie	ľavé					1,000	1,35		1,350
	pravé					1,000	1,35		1,350
Vozovka		0,090	22	1,980	3,0	5,94	1,35	2,673	8,02
ŽB doska		0,200	25	5,000	3,0	15,00	1,35	6,750	20,25

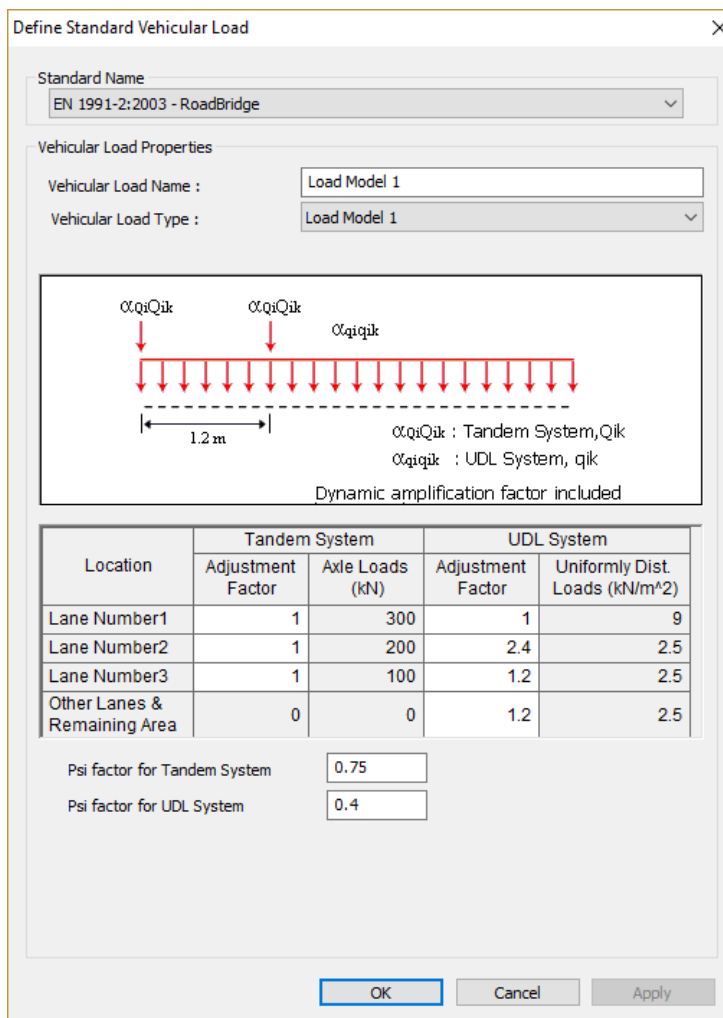
### 5.8.3 Účinky dotvarovania a zmršťovania betónu

Výpočet riešený pomocou programu MIDAS ( s funkciou TDA). Funkcia zmršťovania a dotvarovania betónu je uvažovaná podľa Eurokódu. Bližšia špecifikácia uvedená v kapitole: 5.11.

### 5.8.4 Zat'azenie pohyblivým zat'azením

Pre globálne overenie boli použité nasledovné zat'azovacie modely:

- a) LM 1 (TS –  $\psi = 0,75$ ; UDL –  $\psi = 0,40$ ; chodci –  $\psi = 0,40$ )



Define Standard Vehicular Load

Standard Name: EN 1991-2:2003 - RoadBridge

Vehicular Load Properties

Vehicular Load Name : Load Model 1

Vehicular Load Type : Load Model 1

Diagram illustrating the load model (LM 1) with two point loads ( $\alpha_{Qi}Q_{ik}$ ) and a uniformly distributed load ( $\alpha_{qi}q_{ik}$ ) over a 1.2m span.

Legend:

- $\alpha_{Qi}Q_{ik}$  : Tandem System,  $Q_{ik}$
- $\alpha_{qi}q_{ik}$  : UDL System,  $q_{ik}$

Dynamic amplification factor included

Location	Tandem System		UDL System	
	Adjustment Factor	Axle Loads (kN)	Adjustment Factor	Uniformly Dist. Loads (kN/m <sup>2</sup> )
Lane Number1	1	300	1	9
Lane Number2	1	200	2.4	2.5
Lane Number3	1	100	1.2	2.5
Other Lanes & Remaining Area	0	0	1.2	2.5

Psi factor for Tandem System: 0.75

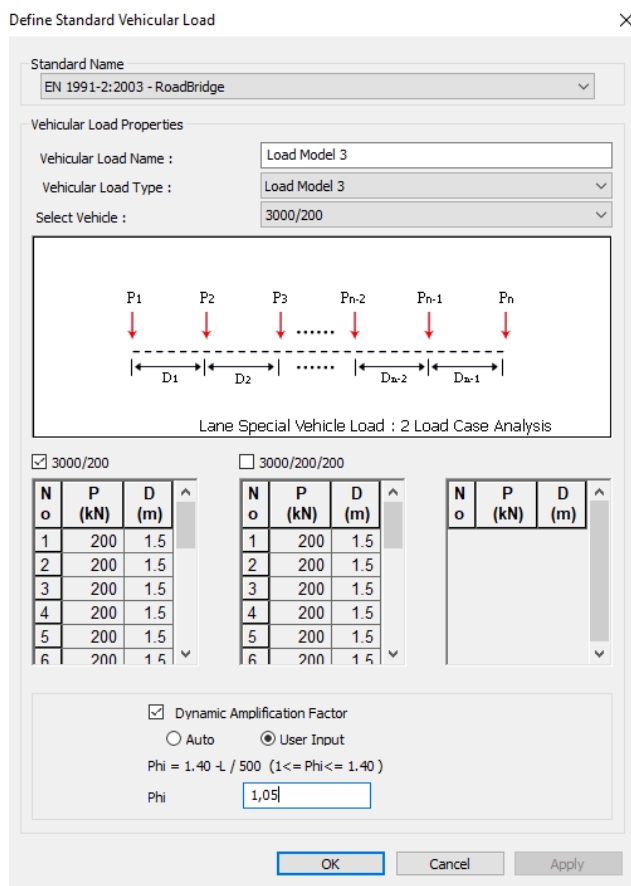
Psi factor for UDL System: 0.4

Buttons: OK, Cancel, Apply

Obr. 5.10: Charakteristika LM1



b) LM 3 vozidlo 3000/200 s dynamickým súčiniteľom 1,05 ( $\psi = 0,0$ )



Define Standard Vehicular Load

Standard Name: EN 1991-2:2003 - RoadBridge

Vehicular Load Properties

Vehicular Load Name: Load Model 3

Vehicular Load Type: Load Model 3

Select Vehicle: 3000/200

Diagram: Lane Special Vehicle Load : 2 Load Case Analysis

3000/200

No	P (kN)	D (m)
1	200	1.5
2	200	1.5
3	200	1.5
4	200	1.5
5	200	1.5
6	200	1.5

3000/200/200

No	P (kN)	D (m)
1	200	1.5
2	200	1.5
3	200	1.5
4	200	1.5
5	200	1.5
6	200	1.5

Dynamic Amplification Factor

Auto ☐ User Input ☒

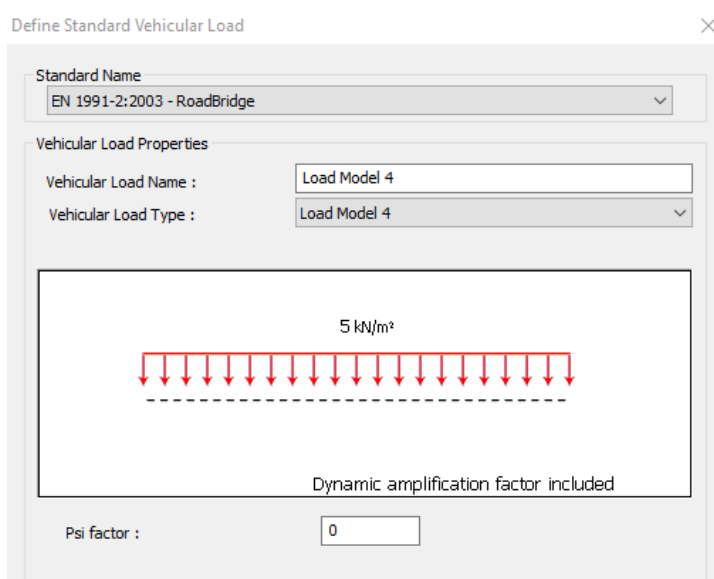
Phi = 1.40 - L / 500 (1 <= Phi <= 1.40)

Phi: 1.05

OK Cancel Apply

Obr. 5.11: Charakteristika LM3

c) LM 4 ( $\psi = 0,0$ )



Define Standard Vehicular Load

Standard Name: EN 1991-2:2003 - RoadBridge

Vehicular Load Properties

Vehicular Load Name: Load Model 4

Vehicular Load Type: Load Model 4

Diagram: 5 kN/m²

Dynamic amplification factor included

Psi factor: 0

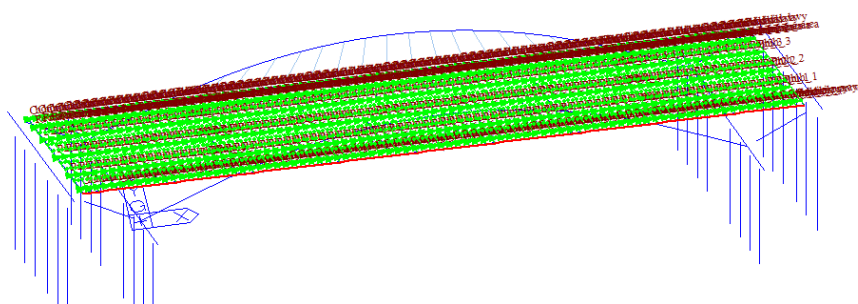
OK Cancel Apply

Obr. 5.12: Charakteristika LM4

Návrh mosta vylučuje možnosť súčasného výskytu špeciálneho vozidla na moste s bežnou dopravou.

Pre vytvorenie systému gr1a bolo k LM1 s charakteristickými hodnotami pridané zvislé zaťaženie chodníkov s kombinačnou hodnotou zaťaženia  $3 \text{ kN/m}^2$ .

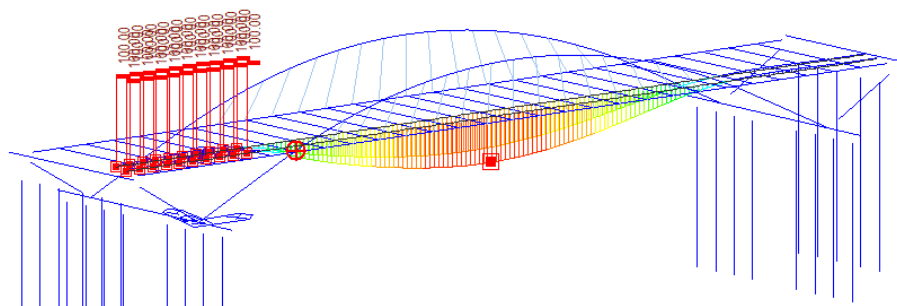
Zaťaženia boli do modelu implikované do zaťažovacích pruhov v súlade s ČSN EN 1991-2. Roznos zaťaženia bol nadstavený do priečnikov mosta. Zaťažovacie pruhy boli modelované so zohľadnením šikmosti mostu.



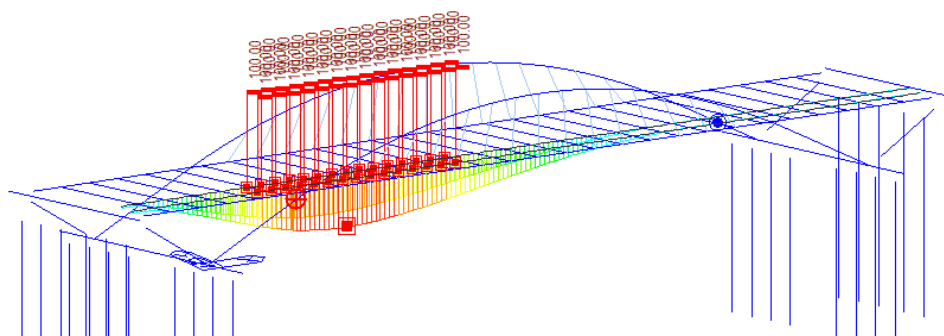
*Obr. 5.13: Aplikácia zaťažovacích pruhov pre dopravné zaťaženie*

Následne bola prevedená analýza najnepriaznivejších účinkov na konštrukciu podľa namáhania nosných prvkov v kritických miestach a boli vygenerované zaťažovacie stavy pre max/min účinky. Najnepriaznivejšie účinky na jednotlivé prvky od pohyblivého zaťaženia boli vyhodnotené porovnaním odozvy všetkých zaťažovacích systémov.

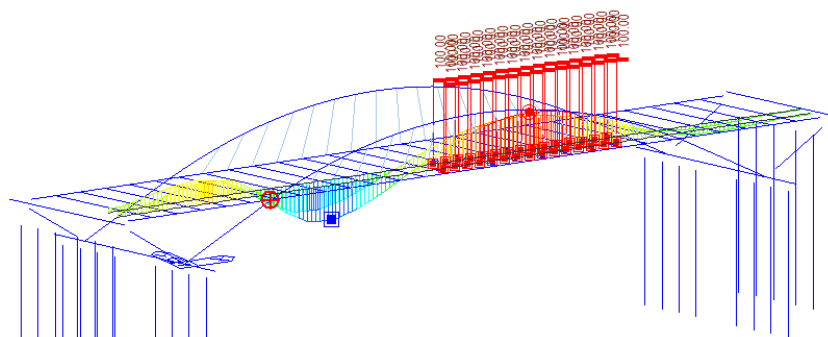
Najnepriaznivejšie polohy a voľba zaťažovacích systémov bola prevedená pomocou vplyvových čiar. Najnepriaznivejšia odozva oblúkov a pozdĺžnikov bola vyvedená pôsobením systému gr5. Priečniky sú najviac namáhané systémom gr1a. Výsledné posudky budú prevedené s použitím oboch systémov kde budú použité ich charakteristické hodnoty podľa posudkov jednotlivých prvkov.



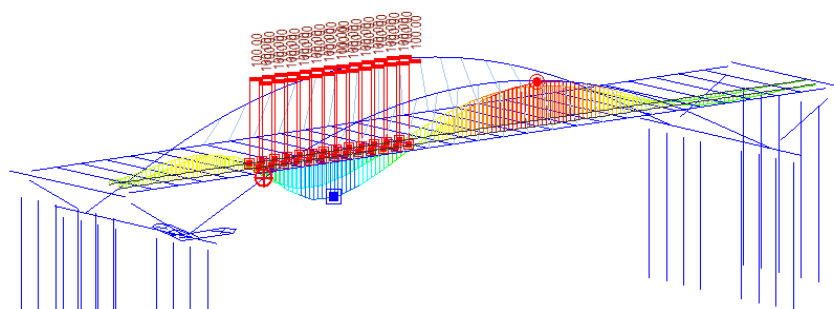
Obr. 5.14: Zaťaženie dopravou - max.  $N$  – oblúk



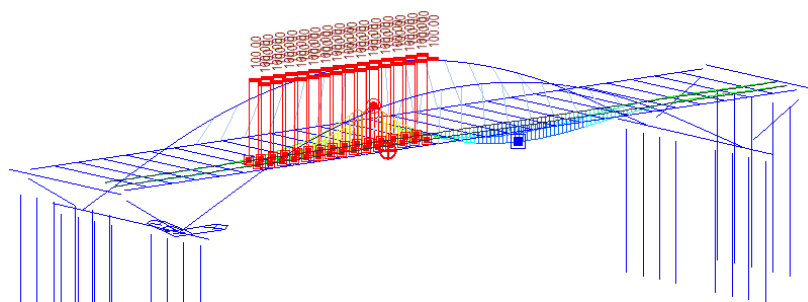
Obr. 5.15: Zaťaženie dopravou - min.  $N$  – oblúk



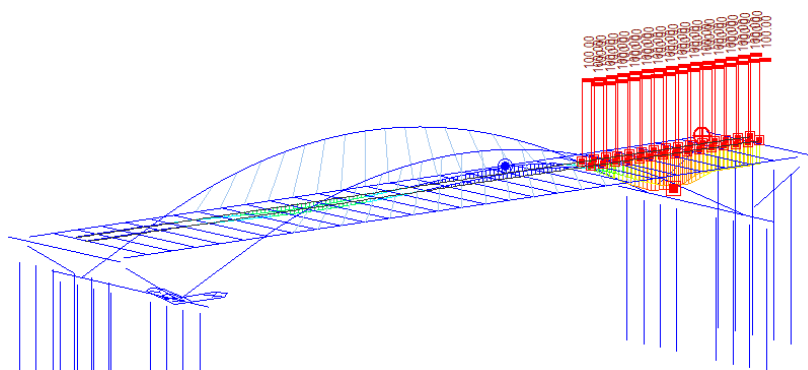
Obr. 5.16: Zaťaženie dopravou - max.  $M_y$  – oblúk



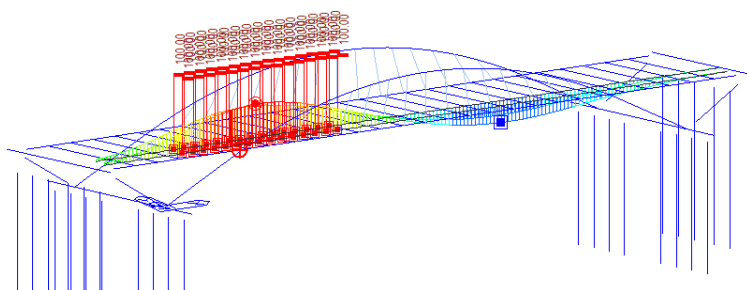
Obr. 5.17: Zaťaženie dopravou - min.  $M_y$  - oblúk



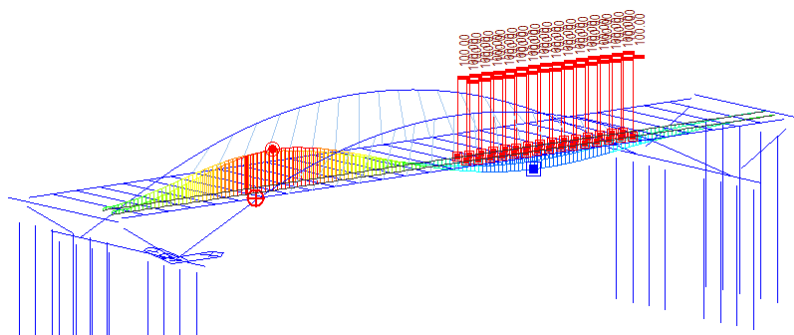
Obr. 5.18: Zaťaženie dopravou - max.  $M_y$  – pozdĺžnik



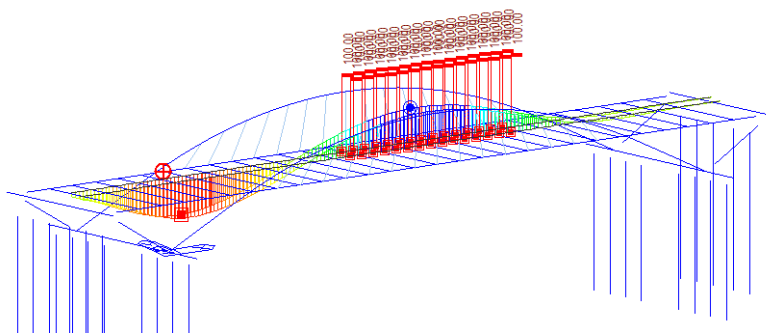
Obr. 5.19: Zaťaženie dopravou - min.  $M_y$  – pozdĺžnik



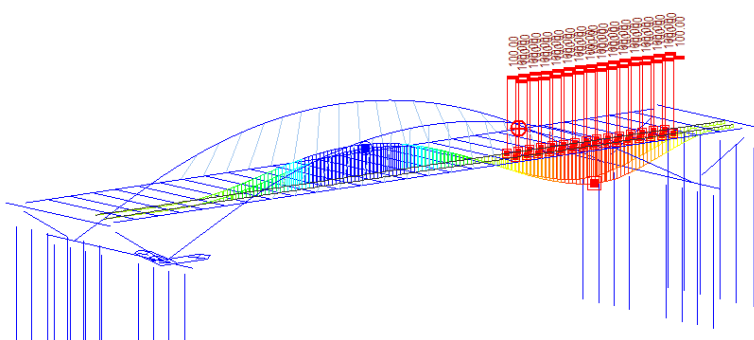
Obr. 5.20: Zaťaženie dopravou - max.  $N$  – pozdĺžnik



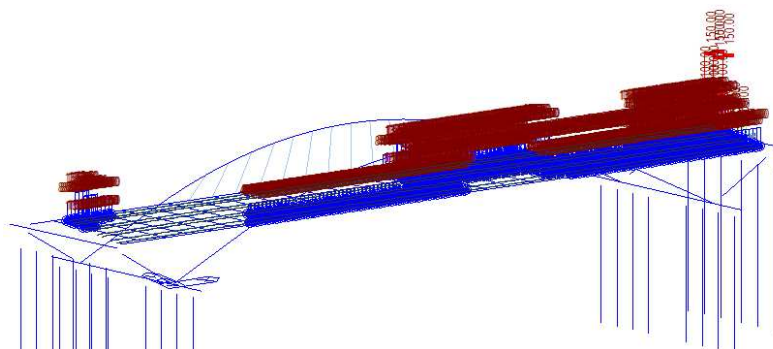
Obr. 5.21: Zaťaženie dopravou - min.  $N$  – pozdĺžnik



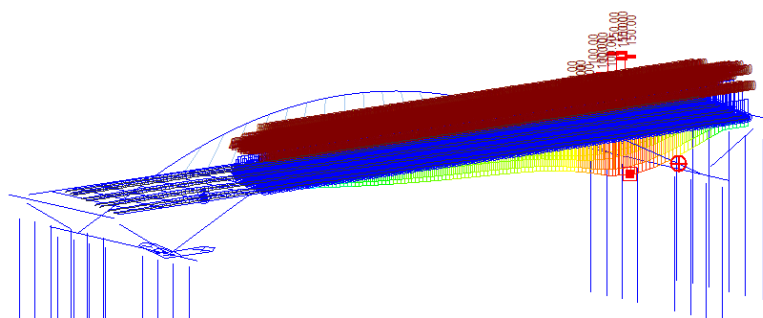
Obr. 5.22: Zatáženie dopravou - max.  $N$  – priechnik



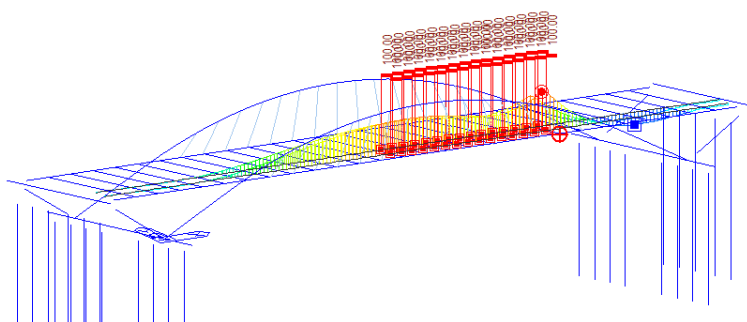
Obr. 5.23: Zatáženie dopravou - min.  $N$  . priechnik



Obr. 5.24: Zatáženie dopravou - max.  $My$  – priechnik



Obr. 5.25: Zatáženie dopravou - min.  $My$  – priechnik



Obr. 5.26: Zatáženie dopravou - max.  $N$  - ťahadlo

### 5.8.5 Zatáženie teplotou

Konštrukcia je analyzovaná na rovnomernú aj nerovnomernú zmenu teploty. Podľa typu nosnej konštrukcie je uvažované s 2. typom, tj. Ocel'obetónová nosná konštrukcia. Teplotný súčiniteľ dĺžkovej rozťažnosti betónu a výstuže sa uvažuje  $12 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ .

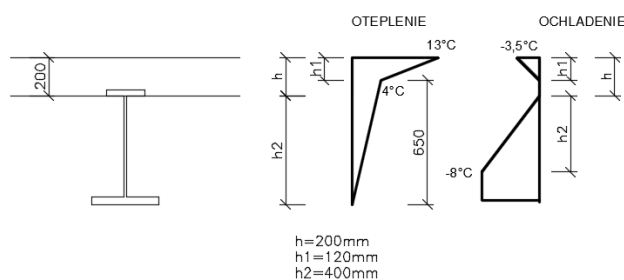
Rovnomerná zložka teploty závisí na maximálnej a minimálnej teplote, ktorú môže most dosiahnuť. Toto teplotné zaťaženie bolo na model aplikované pomocou funkcionality „Element Temperature“ a ako konvenčná základná teplota bola použitá hodnota  $T_0 = 10^\circ \text{C}$ . Medzné teploty sú  $T_{\max} = +40^\circ \text{C}$  a  $T_{\min} = -25^\circ \text{C}$ . Z toho vyplýva normová teplotná zmena

$$\Delta T_N = +30^\circ \text{C} \text{ (oteplenie)}$$

$$\Delta T_N = -35^\circ \text{C} \text{ (ochladenie)}$$

Pre výpočet dilatčných špár je uvažované  $(\Delta T_{N,\text{exp}} + 20)$  resp.  $(\Delta T_{N,\text{con}} - 20)$ .

Zvislá zložka teploty s nelineárnymi účinkami je uvažovaná podľa [5]. Uvažovaný spôsob : betónová mostovka na ocel'ových plnostenných nosníkoch. Pribeh teplôt je znázornený na Obr. 5.27. Toto zaťaženie bolo na model aplikované pomocou funkcionality „Beam Section Temperature“.



Obr. 5.27: Rozdiely teplôt pre ocel'obetónovú nosnú konštrukciu

### 5.8.6 Brzdné a rozjazdové sily

$$Q_{lk} = 0,6\alpha_{ql}(2Q_{lk}) + 0,10\alpha_{ql}q_{1k}w_1L =$$

$$Q_{lk} = 0,6 \times (2 \times 300) + 0,1 \times 1 \times 9 \times 3 \times 85 = 589,5 \text{ kN}$$

Brzdná sila je modelovaná ako spojitú zaťaženie pôsobiace po dĺžke oboch pozdĺžnikov.

Brzdná sila  $f_{BR} = 3,47 \text{ kN/m}$  (zaťaženie od LM1 rozpočítané na oba pozdĺžniky)

Excentricita zaťaženia  $e = 0,309 \text{ m}$  (od ťažiska pozdĺžnika k povrchu vozovky)

### 5.8.7 Náraz vozidla

Podľa ČSN EN [4] sa majú uvažovať sily od nárazu do nosných prvkov. Doporučuje sa aby boli použité sily uvedené v 4.7.2.1(1) s pôsobiskom 1,25m nad úrovňou vozovky.

Náraz do oblúku v pozdĺžnom smere  $F_{POZ} = 1000 \text{ kN}$

Náraz do oblúku v priečnom smere  $F_{PR} = 500 \text{ kN}$

### 5.8.8 Zaťaženie vetrom

ČSN EN 1991-1-3 [3] umožňuje využiť zjednodušenú metódu výpočtu zaťaženia vetrom podľa 8.3.2. Podľa mapy most spadá do veternej oblasti II s kategóriou terénu II.

Výška horného povrchu mostovky nad povrchom terénu je menej ako 10m. Vzhľadom na malú výšku bol použitý rovnaký súčiniteľ expozície pre mostovku aj oblúk.

$$F_w = 1/2 \times \rho \times v_b^2 \times C \times A_{ref,x} \quad (5.1)$$

$v_b$  základná rýchlosť vetra; 25 m/s

$\rho$  merná hmotnosť vzduchu;  $\rho=1,25 \text{ kg/m}^3$  (doporučená hodnota)

$C$  súčiniteľ zaťaženia vetrom; 3,995

$A_{ref,x}$  referenčná plocha

$$w_n = 1/2 \times 1,25 \times 25^2 \times 3,995 = 1,56 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{\text{pozdĺžnik}} = 1,56 \times 1,07 = 1,67 \text{ kN/m} \quad (H_{\text{pozdĺžnik}} = 1,07 \text{ m})$$

$$w_{\text{vozidlá}} = 1,56 \times 2,5 = 3,9 \text{ kN/m} \quad (H_{\text{vozidlá}} = 2,5 \text{ m})$$

$$w_{\text{oblúk}} = 1,56 \times 0,82 = 1,28 \text{ kN/m} \quad (H_{\text{oblúk}} = 0,82 \text{ m} - \text{priemer})$$

$$w_{\text{řahadlá}} = 1,56 \times 0,052 = 0,08 \text{ kN/m} \quad (\phi_{\text{řahadla}} = 0,052 \text{ m})$$

Norma EN 1990, príloha A2 uvádza že zaťaženie od vetra sa doporučuje kombinovať s LM1 alebo gr1. Závisí však na skladbe dopravy a podmienkach projektu. V tomto posudku bola uvážená iba kombinácia vetra s dopravou pri priečnom pôsobení na most. Norma ďalej hovorí že zaťaženie vetrom sa nemusí kombinovať súčasne s teplotou. Zaťaženie vetrom je použité v kombinácii pre stabilitné posúdenie.

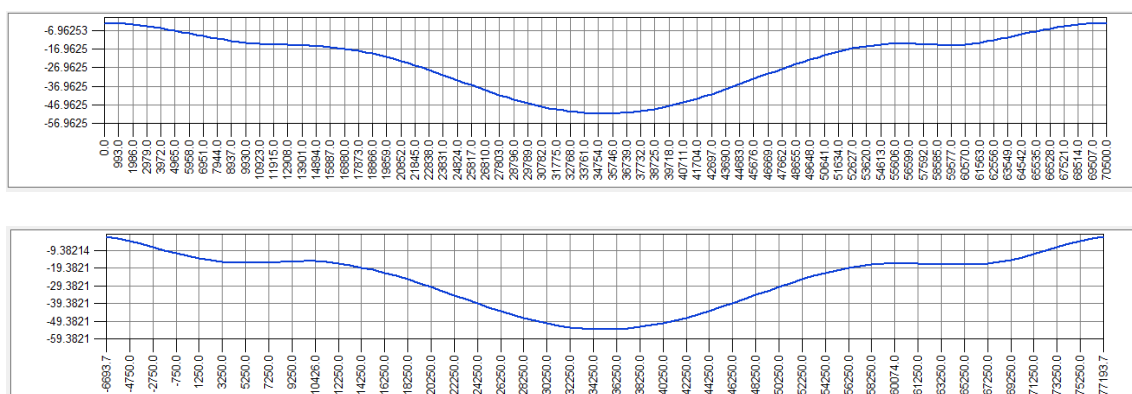
### 5.8.9 Zaťaženie predpätím v závesoch

Predpätie v oceľových tyčiach bolo navrhnuté z hľadiska optimalizácie zvislého priehybu mosta od stále pôsobiacich zaťažení. Pre účely tejto optimalizácie bol vytvorený samostatný model (identický vo všetkých smeroch okrem zohľadnenia fázy výstavby). Bola vytvorená kombinácia zohľadňujúca všetky stále pôsobiace zaťaženia a boli vytvorené obmedzujúce podmienky pre návrh predpätia.

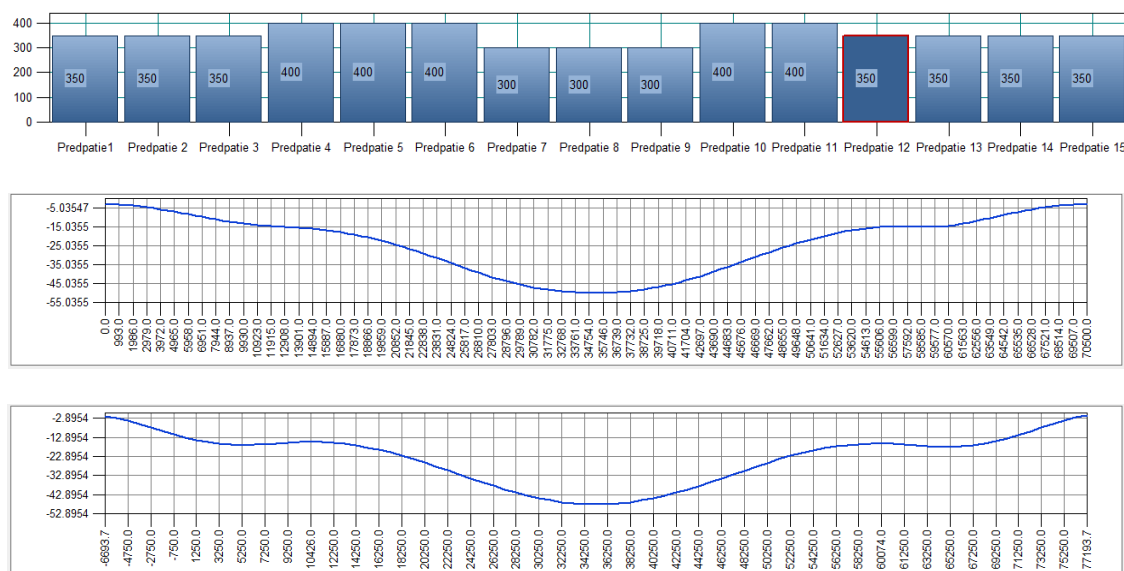
V návrhu sa uvažuje s použitím M 64. Výrobca garantuje elastickú pevnosť v ťahu 1095 kN. Vzhľadom na to že v tomto modeli nie je počítané s premennými zaťažzeniami bola jedna z obmedzujúcich podmienok pre návrh predpätia, nastavenie obmedzenia ťahovej sily v tyči po zaťažení stálym zaťažením na 450 kN. Ide o rezervu pre namáhanie od dopravy.

Z hľadiska zvislého priehybu boli optimalizované pre rovnomerné priechyby oblúka a pozdĺžnika. Pri príliš veľkých hodnotách predpätia sa priehyb pozdĺžnikov zmenšoval na úkor veľkého priehybu oblúka. Prepínacia sila v lane síce pomáha odľahčiť mostovku, na druhú stranu pritáhuje oblúk. Preto bolo zvolené rozloženie síl, kde sú použité najmenšie hodnoty predpätia v strede oblúku. Stred oblúku je najviac deformovaný preto sú deformácie korigované väčšou hodnotou predpätia v medziľahlých častiach oblúka. Vzhľadom na geometriu vychádzajú najväčšie sily v krajných tyčiach. Preto bola hodnota predpätia v týchto tyčiach znížená rovnako ako v strede oblúka. Na Obr. 5.28 sú znázornené priechyby oboch profilov pri nulovej hodnote predpätia. Obr. 5.29 znázorňuje priechyby po aplikovaní navrhnutých síl do tyčí.





Obr. 5.28: Deformácie oblúka a pozdĺžnika bez predpätia



Obr. 5.29: Návrh predpätia a následné deformácie oblúka a pozdĺžnika

Z priebehu deformácií je jasné že správny návrh predpätia pomohol eliminovať deformácie oboch prvkov. Ostatné priehyby od stálych zaťažení budú eliminované návrhom nadvýšenia v ďalších kapitolách.

## 5.9 Skupiny zaťažení

Pre globálne overenie boli vytvorené nasledujúce skupiny zaťažení:

- gr1a
- gr4
- gr5

---

## 5.10 Kombinácie zaťažovacích stavov pre posúdenie prvkov

### Stále zaťaženia:

ZS1: Stále zaťaženia (vlastná tiaž konštrukcie na konci výstavby)

ZS2: Ostatné stále zaťaženia (rímsy, zvodidlá, príslušenstvo)

ZS3: Zmršťovanie  $T(0)$

ZS4: Dotvarovanie  $T(0)$

ZS5: Zmršťovanie  $T(100)$

ZS6: Dotvarovanie  $T(100)$

ZS7: Predpätie v závesoch

### Premenné zaťaženia:

Premenné zaťaženia od dopravy: (min/max účinky podľa posudzovaného prvku)

ZS8: Maximálny účinok dopravy - max. hodnoty  $M_y$

ZS9: Maximálny účinok dopravy - min. hodnoty  $M_y$

ZS10: Maximálny účinok dopravy - max. hodnoty  $N$

ZS11: Maximálny účinok dopravy - min. hodnoty  $N$

### Ostatné premenné zaťaženia:

ZS12: Rovnomerná zmena teploty (+)

ZS13: Rovnomerná zmena teploty (-)

ZS14: Nerovnomerná zmena teploty (+)

ZS15: Nerovnomerná zmena teploty (-)

ZS16: Vietor pravý

ZS17: Vietor ľavý

### Súčinitele zat'azenia

Vlastná tiaž:	$\gamma_G=1,35$
Ostatné stále zat'azenia:	$\gamma_G=1,35$
Predpätie ťahadiel:	$\gamma_P=1,00$
Zmršťovanie:	$\gamma_G=1,00$
Dotvarovanie:	$\gamma_G=1,35$
Vozidlá:	$\gamma_Q=1,35$
Vietor:	$\gamma_Q=1,50$
Teplotné zmeny:	$\gamma_Q=1,50$
	$\xi=0,85$

### Kombinačné súčinitele

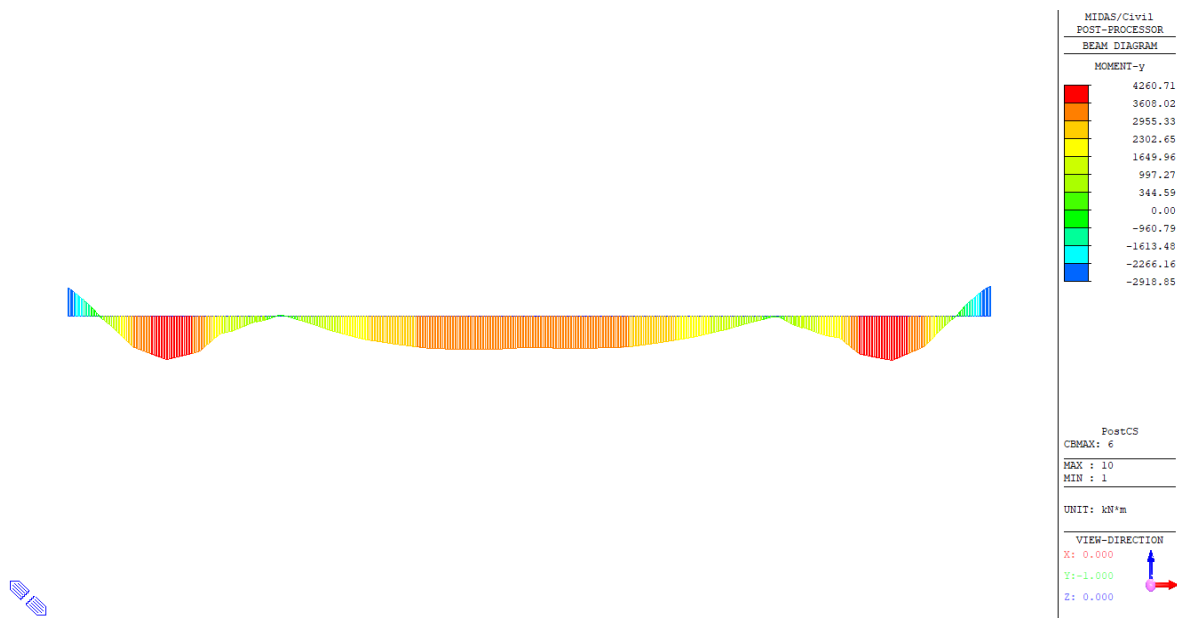
TS	$\psi_0= \psi_1=0,75$	$\psi_2=0$
UDL, chodník	$\psi_0= \psi_1=0,4$	$\psi_2=0$
Teplota	$\psi_0= \psi_1=0,6$	$\psi_2=0,5$
Vietor	$\psi_0=0,6 \quad \psi_1=0,2$	$\psi_2=0$

Pri vytváraní kombinácii v Midas Civil sú vytvorené dva zaťažovacie stavy od každej skupiny zaťaženia. Pre kombináciu (6.10a) je dopravný zaťažovací stav prenášobený Psi faktorom a pre kombináciu (6.10b) stav prenášobený nie je. Ostatné premenné zaťaženia mimo dopravy sú prenášobené faktorom Psi priamo pri vytváraní kombinácie.

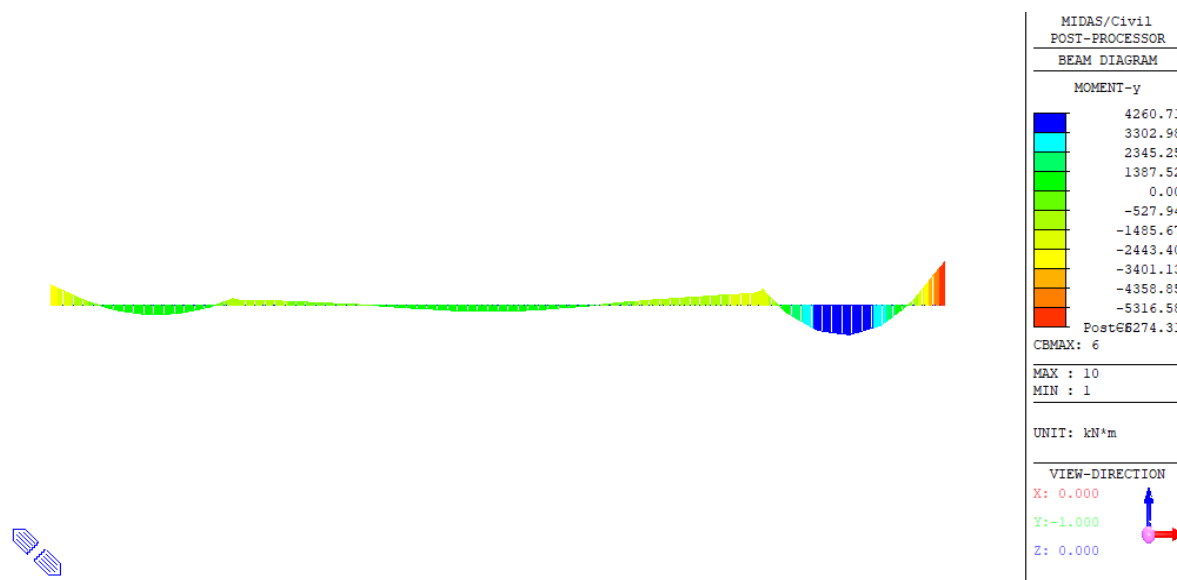
Pozn. : Maximálny zaťažovací stav spomedzi ZS8-ZS11 je zvolený osobitne pre každý posudzovaný prvok. Pre posúdenie pozdĺžnikov a oblúkov je zaťaženie dopravou reprezentované systémom gr5 a pozdĺžniky sú reprezentované systémom gr1a.

Pretože nelineárny výpočet sa nedá kombinovať s výpočtom pohyblivých zaťažení boli od najhorších polôh systémov zaťažení dopravy v lineárnom výpočte vytvorené statické zaťažovacie stavy od dopravy. Takto boli pohyblivé zaťaženia (ako statické zaťaženia) implikované do nelineárneho výpočtu. Na Obr. 5.30 je zobrazená obálka najnepriaznivejších kladných ohybových namáhání od pohyblivých zaťažení systému gr5. Na Obr. 5.31 je

zobrazený ohybový moment ktorý vytvorí rovnako veľké kladné ohybové namáhanie ale iba od konkrétnej polohy zaťažovacieho systému gr5. Tento statický zaťažovací stav bol vytvorený pomocou vplyvových čiar. Takto boli určené návrhové sily pre všetky posudky.



Obr. 5.30 : Obálka najväčších kladných ohybových momentov od systému gr5



Obr. 5.31 : Ohybový moment od konkrétneho postavenia zaťažovacieho systému gr5

Pri použití lineárneho výpočtu je možné tento krok obísť použitím generovania tzv. „Concurrent Forces“.

Maximálna hodnota zaťaženia vetrom je zvolená vždy s ohľadom na konkrétny posudzovaný prvok, tj. Pri posudku pravého pozdĺžnika bude použitý ZS16 a obdobne pri ľavom.

#### Kombinácie zaťaženia (6.10a)-01

$$1,35 \times (ZS1 + ZS2 + ZS6) + 1,0 \times (ZS5 + ZS7) + 1,35 \times \psi \times \max(ZS8 - ZS11) + 0,6 \times 1,5 \times (\text{obálka } ZS12, ZS14) + 0,6 \times 1,5 \times \max(ZS16, ZS17)$$

#### Kombinácie zaťaženia (6.10a)-02

$$1,35 \times (ZS1 + ZS2 + ZS6) + 1,0 \times (ZS5 + ZS7) + 1,35 \times \psi \times \max(ZS8 - ZS11) + 0,6 \times 1,5 \times (\text{obálka } ZS13, ZS15) + 0,6 \times 1,5 \times \max(ZS16, ZS17)$$

#### Kombinácie zaťaženia (6.10b)-01

$$0,85 \times 1,35 \times (ZS1 + ZS2 + ZS6) + 1,0 \times (ZS5 + ZS7) + 1,35 \times \max(ZS8 - ZS11) + 0,6 \times 1,5 \times (\text{obálka } ZS12, ZS14) + 0,6 \times 1,5 \times \max(ZS16, ZS17)$$

#### Kombinácie zaťaženia (6.10b)-02

$$0,85 \times 1,35 \times (ZS1 + ZS2 + ZS6) + 1,0 \times (ZS5 + ZS7) + 1,35 \times \max(ZS8 - ZS11) + 0,6 \times 1,5 \times (\text{obálka } ZS13, ZS15) + 0,6 \times 1,5 \times \max(ZS16, ZS17)$$

Hlavným premenným zaťažením bude vždy zaťaženie dopravou !!!

#### Charakteristická kombinácia

$$1,0 \times (ZS1 + ZS2 + ZS5 + ZS6) + 1,0 \times ZS7 + 1,0 \times \max(ZS8 - ZS11) + 0,6 \times (\text{obálka } ZS13, ZS15) + 0,2 \times \max(ZS16, ZS17)$$

#### Častá kombinácia

$$1,0 \times (ZS1 + ZS2 + ZS5 + ZS6) + 1,0 \times ZS7 + 1,0 \times \psi_1 \times \max(ZS8 - ZS11) + 0,5 \times (\text{obálka } ZS13, ZS15)$$

#### Kvázistála kombinácia

$$1,0 \times (ZS1 + ZS2 + ZS5 + ZS6) + 1,0 \times ZS7 + 0,5 \times (\text{obálka } ZS13, ZS15)$$

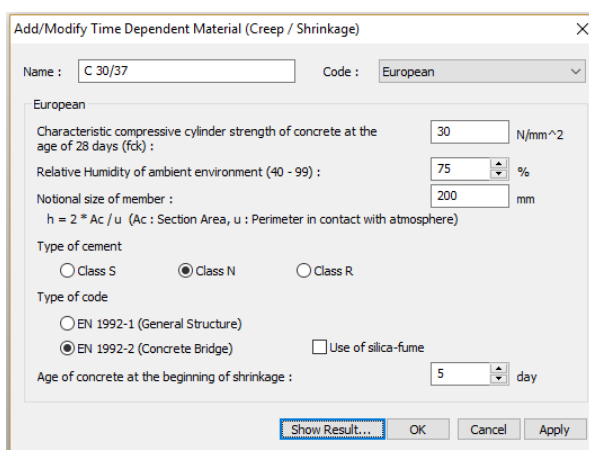
Vytvorené kombinácie sú uvedené v prílohe P6.

## 5.11 Model postupnej výstavby a TDA analýzy

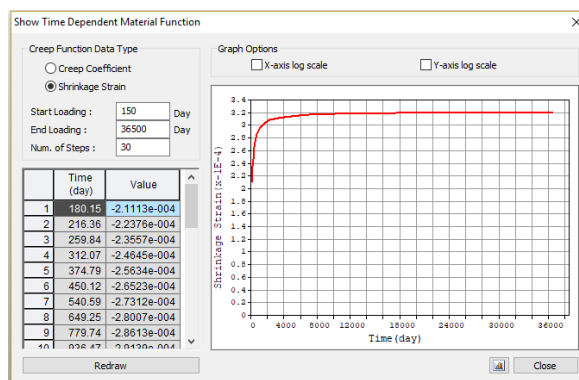
S postupom výstavby mostu sú späté jednotlivé fázy výstavby ako aj vývoj pevnosti a modulu pružnosti tlaku a zároveň aj reológia, teda vplyv dotvarovania a zmršťovania betónu v čase. Vytvorený priestorový model využíva funkciu TDA, tj. Time Dependent Analysis pre zohľadnenie časových účinkov na konštrukciu.

### Definícia časovo závislého materiálu

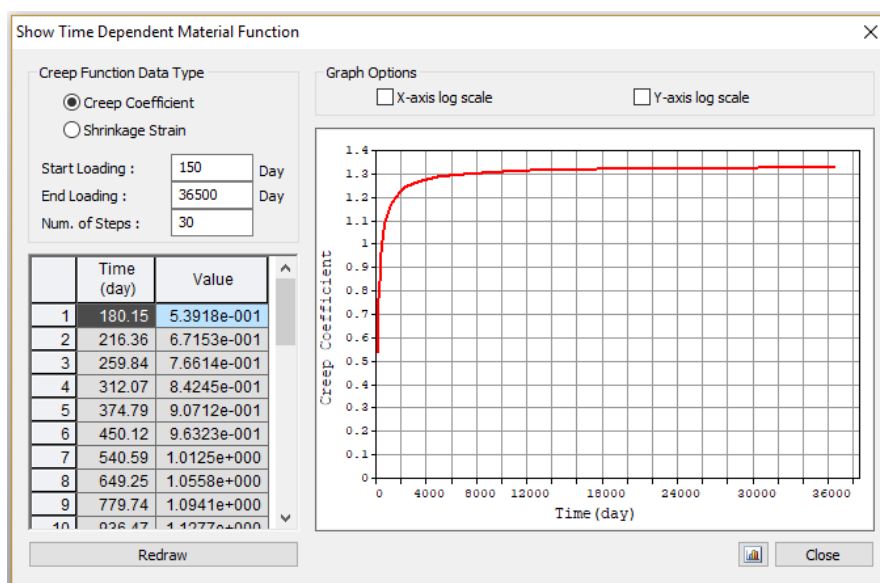
Zmršťovanie a dotvarovanie je v modeli zohľadnené podľa Európskych noriem, pre charakteristickú pevnosť 30 MPa, s relatívnou vlhkosťou 75% pre cement triedy N. Ako náhradná výška prierezu bola spočítaná hodnota 200 mm. Začiatok zmršťovania bol určený na 5. deň. Výpočet uvažuje so začiatkom pridania ostatného stáleho zaťaženia po 150 dňoch od začatia výstavby a je sledovaný stav po 100 rokoch teda 36500 dňoch.



Obr. 5.32: Definovanie časovo závislého materiálu v Midas Civil

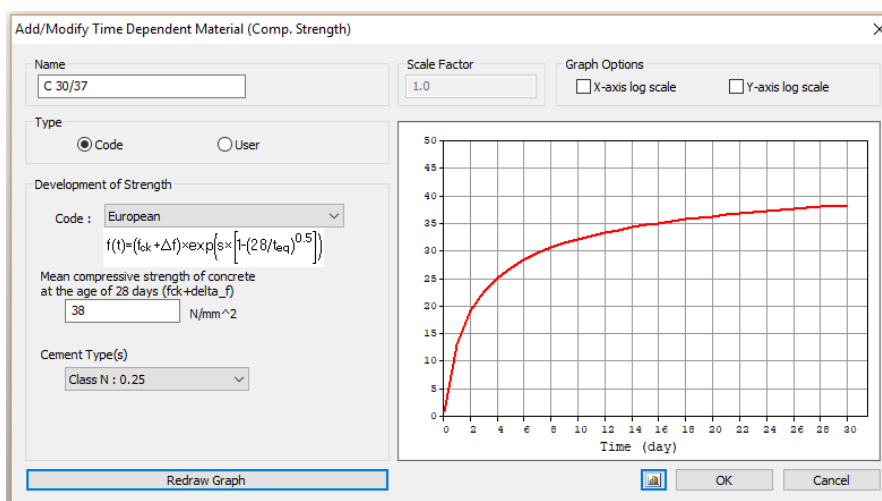


Obr. 5.33: Vývoj modulu zmršťovania v čase



Obr. 5.34: Vývoj dotvarovania v čase

Vývoj modulu pružnosti v čase je definovaný podľa Eurokódu pre strednú hodnotu betónu v tlaku 38 MPa a pre cement triedy N.



Obr. 5.35: Vývoj modulu pružnosti betónu v čase

## Postup výstavby v Midas Civil

Pre účel posúdenia konštrukcie pri výstavbe bol vytvorený výpočtový model s nasledujúcimi fázami výstavby. Výstup z modelu je výpočet reakcií na montážne bárky (príloha P3) a overenie napätosti prierezov v jednotlivých štádiách výstavby (kapitola 8.3).

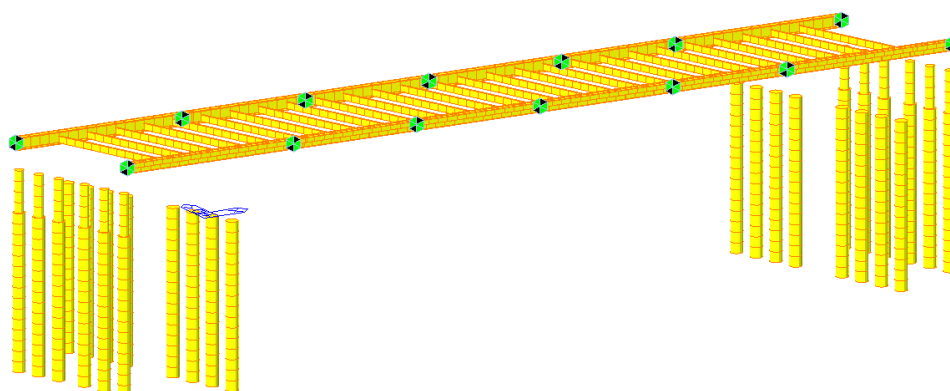
Tab. 5.4: Fázy výstavby generované v Midas Civil

Meno	Trvanie	Vek	Popis
Piloty	30	30	Vznik pilot a pružného podoprenia
Výstavba_mostovky	30	60	Vznik ocelevej mostovky na kontinuálnom podoprení
Výstavba_oblúkov	10	70	Vyskladanie oblúkov na bárky
Výstavba_spodna stavba	25	95	Zvarenie oblúkov a betonáž spodnej stavby
Betonaž_oblúk	10	105	Vybetónovanie oceleového profilu oblúku
Betónáž_mostovky	7	112	Zaťaženie ocelevej mostovky mokrým betónom
Odskrúženie_oblúka	1	113	Odstránenie bárky pod oblúkmi
Montáž+predpínanie	2	115	Montáž závesov a následné predpínanie
Odskrúženie	1	116	Odstránenie kontinuálneho podoprenia mostovky
Privarenie O+P	4	120	Privarenie oblúku a pozdĺžniku
Ostatné stále	30	150	Zažadenie konštrukcie ostatným stálym zaťažením
Uvedenie do prevádzky	20	170	Reológia T=0
Koniec_životnosti	36330	36500	Koniec životnosti (reológia T=100)

### Postup výstavby – schémy

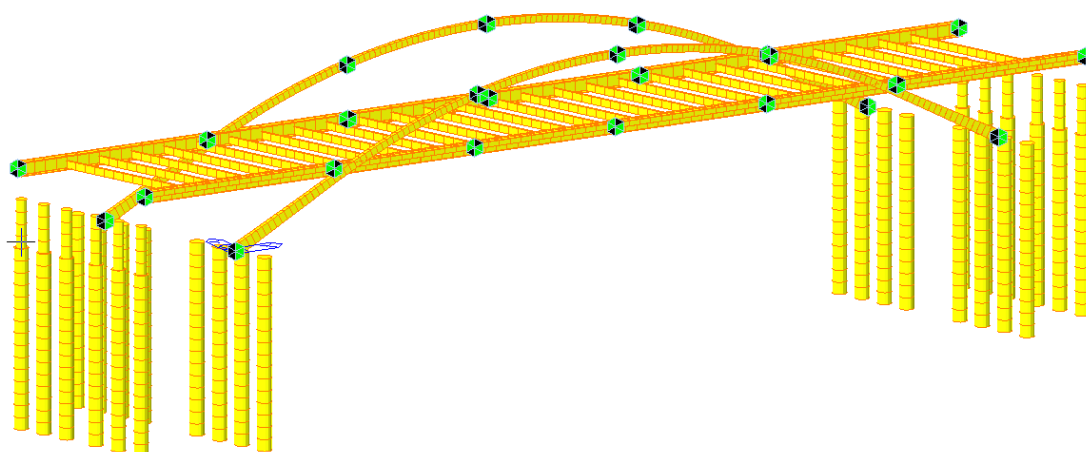


Obr. 5.36: Pilotové založenie mostu

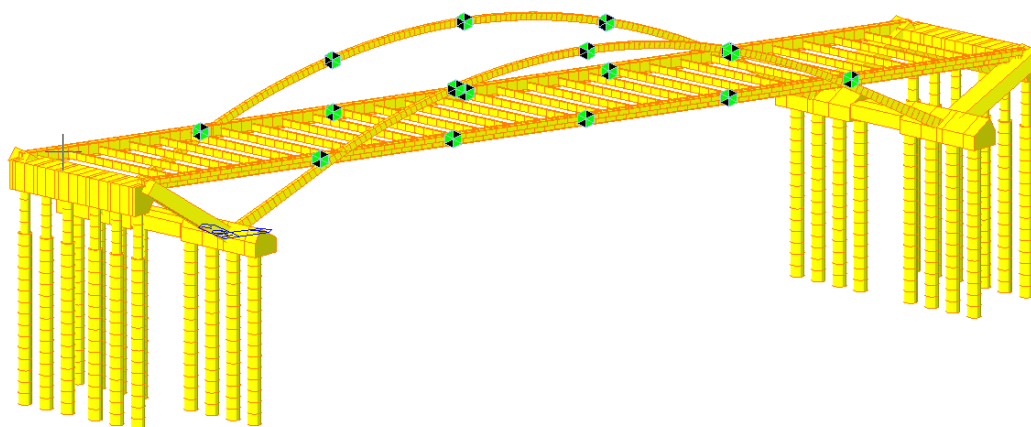


Obr. 5.37: Montáž ocelevej mostovky na montážne bárky

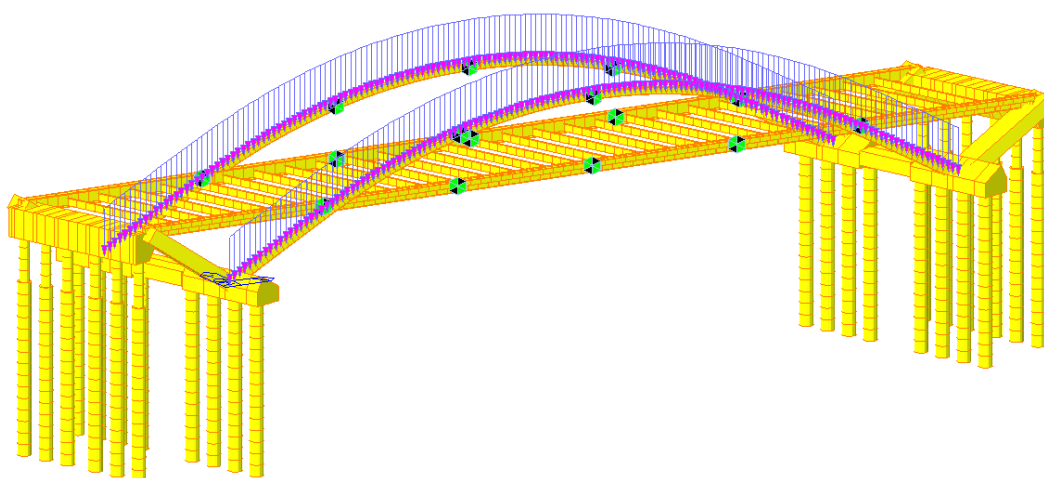




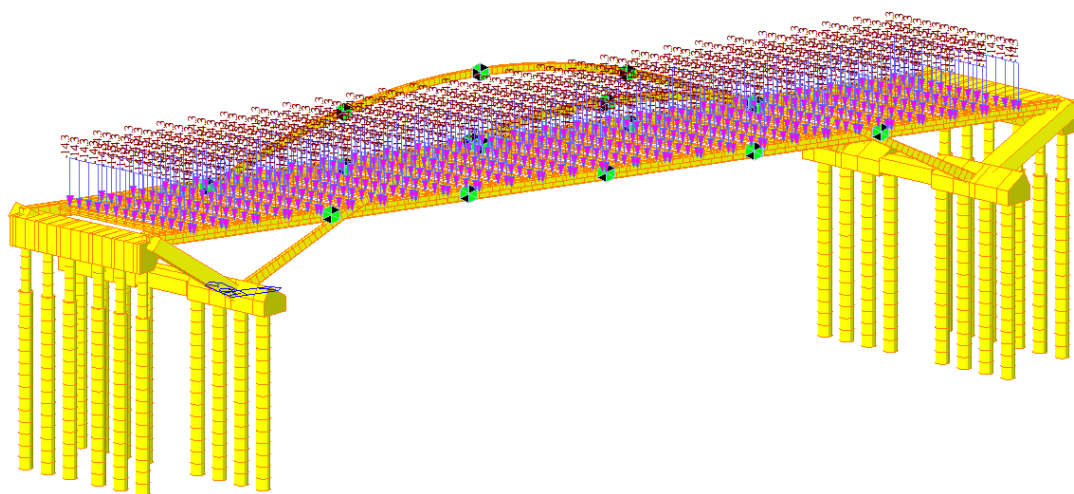
*Obr. 5.38: Montáž ocelových oblúkov na montážne bárky*



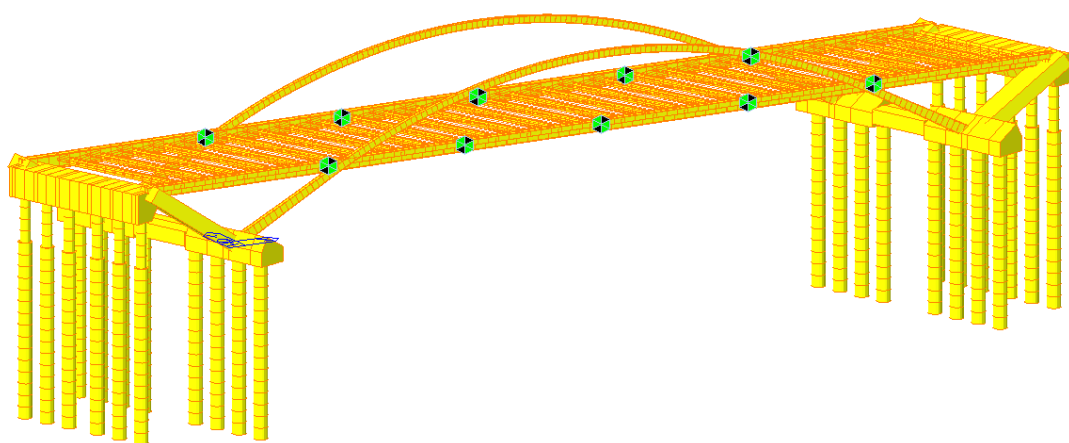
*Obr. 5.39: Betonáž spodnej stavby a odstránenie bárok na koncoch pozdĺžnikov*



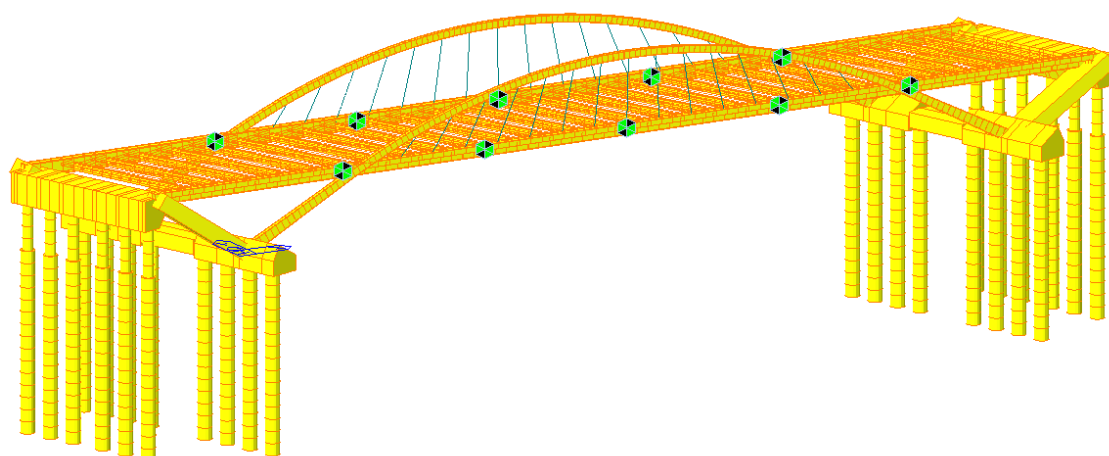
*Obr. 5.40: Betonáž uzatvoreného oblúkového profilu*



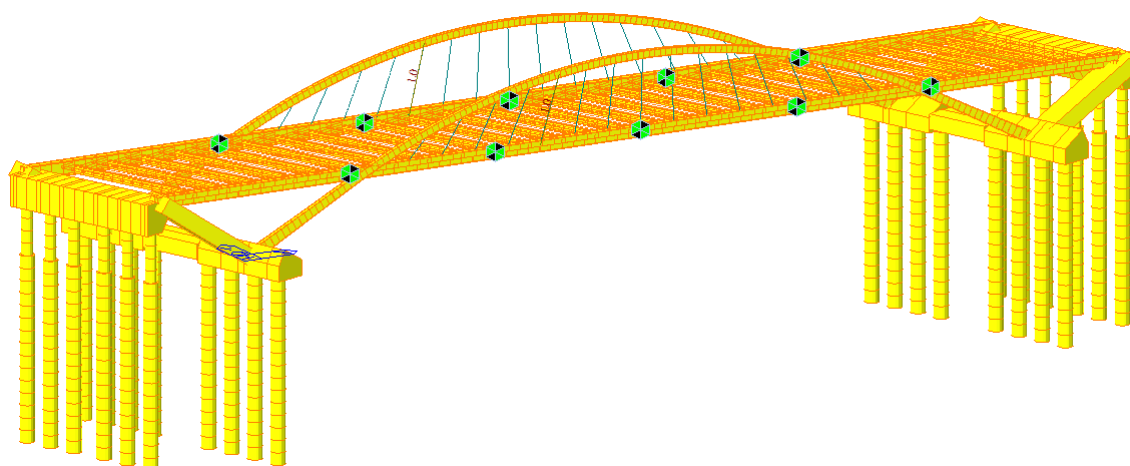
*Obr. 5.41: Betonáž dosky mostovky*



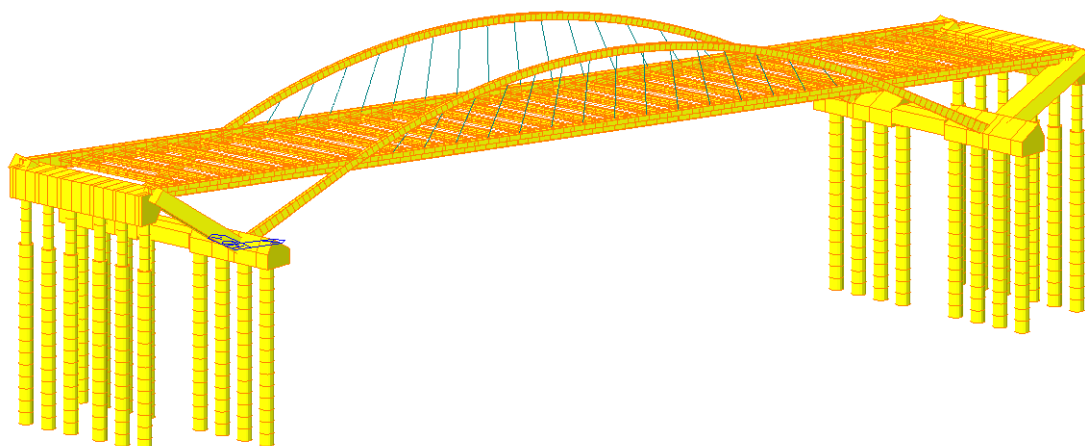
*Obr. 5.42: Odstránenie podpôr oblúka*



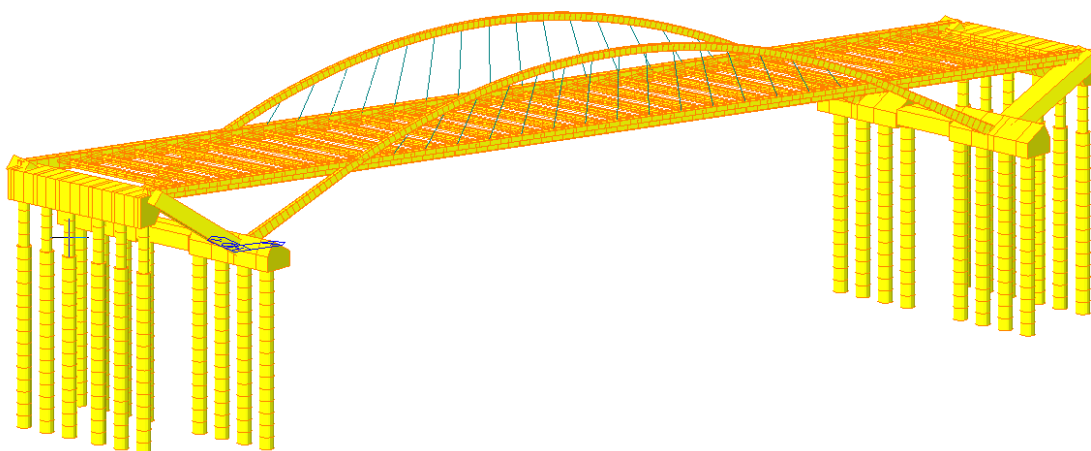
*Obr. 5.43: Montáž závesov*



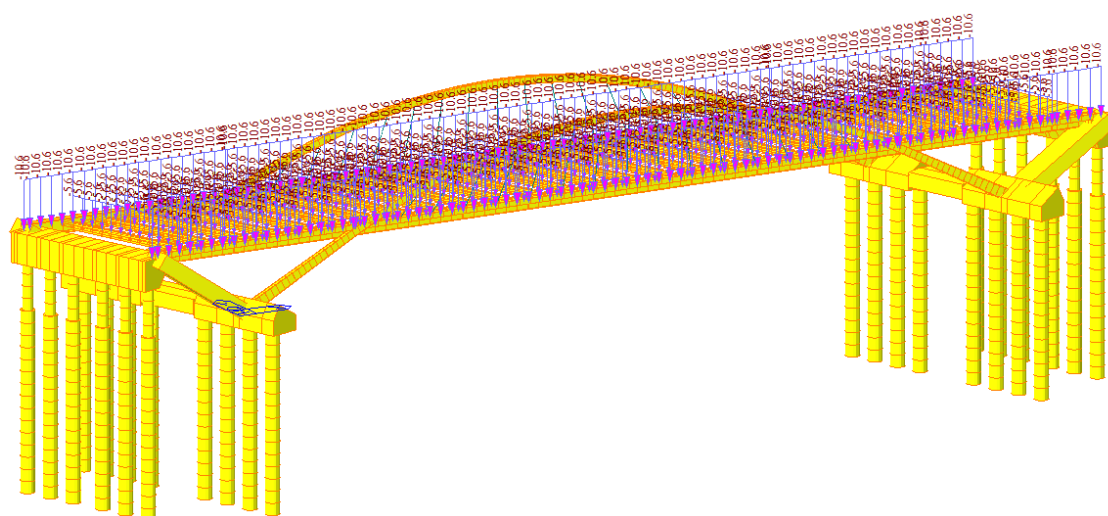
*Obr. 5.44: Predpínanie závesov*



*Obr. 5.45: Odskrúženie mosta*



*Obr. 5.46: Privarenie oblúkov k pozdĺžnikom*



*Obr. 5.47: Zaťaženie ostatným stálím zaťažením a uvedenie do prevádzky*

Pri modelovaní fázy výstavby betonáže mostovky a oblúka bol zvolený nasledujúci postup. Bol vytvorený kompozitný prierez s úpravou materiálovej charakteristiky betónu. Pevnostné charakteristiky boli ponechané ale bola zmenená hodnota objemovej tiaže betónu. Tá bola zadaná ako nulová a zaťaženie betónu bolo modelované ručne pre vystihnutie fázy kde na samostatnú oceľ pôsobí mokrý betón. Po zatvrdnutí betónu pôsobí prierez s charakteristikami spriahnutého prierezu a tiaž betónu pôsobí ako stále zaťaženie, tzv. „Dead Load“. Model počíta s aktiváciou sprážených prierezov podľa nastavenia aktivácie kompozitného prierezu v rámci fáz výstavby.

Detailný popis postupu výstavby je uvedený v prílohe [P2](#) a je znázornený na výkrese č8. ktorý je priložený v prílohách tejto práce. Pri určení výpočtových hodnôt reakcií na montážne bárky bolo uvažované s vlastnou tiažou konštrukcie, vetrom pôsobiacim na prierezy podľa štádií výstavby a s účinkom rovnomernej zmeny teploty jednotlivých prvkov mostovky a oblúkov. Výpočet neuvažuje s vlastnou tiažou bárk ani samotnej skruže. Výsledné hodnoty síl pôsobiacich na bárky sú uvedené v prílohe P3.

## 6 STABILITA KONŠTRUKCIE

Analýzou globálnej straty stability je zistený kritický násobok zaťaženia  $\alpha$ . Tento násobok vyjadruje pomer skutočného zaťaženia a zaťaženia potrebného pre spôsobenie celkovej straty stability.

Mostná konštrukcia bola podrobená stabilitnej analýze pre dva druhy zaťaženia. Prvým typom bolo zvislé zaťaženie od dopravy (gr5), umiestnené v polohe v ktorej vyvoláva najväčšiu normálovú silu vo vrchole oblúka. Zaťaženie gr5 bolo umiestnené aj do polohy kde vyvoláva najväčšiu normálovú silu v oblúku obecné. Druhým typom je vodorovné zaťaženie vetrom, pôsobiace na plochách oblúkov a pozdĺžnikov. Pri výpočte bol vždy aktivovaný iba jeden druh premenného zaťaženia v kombinácií so všetkými stálymi zaťaženiami.

Výsledkom stabilitnej analýzy je:

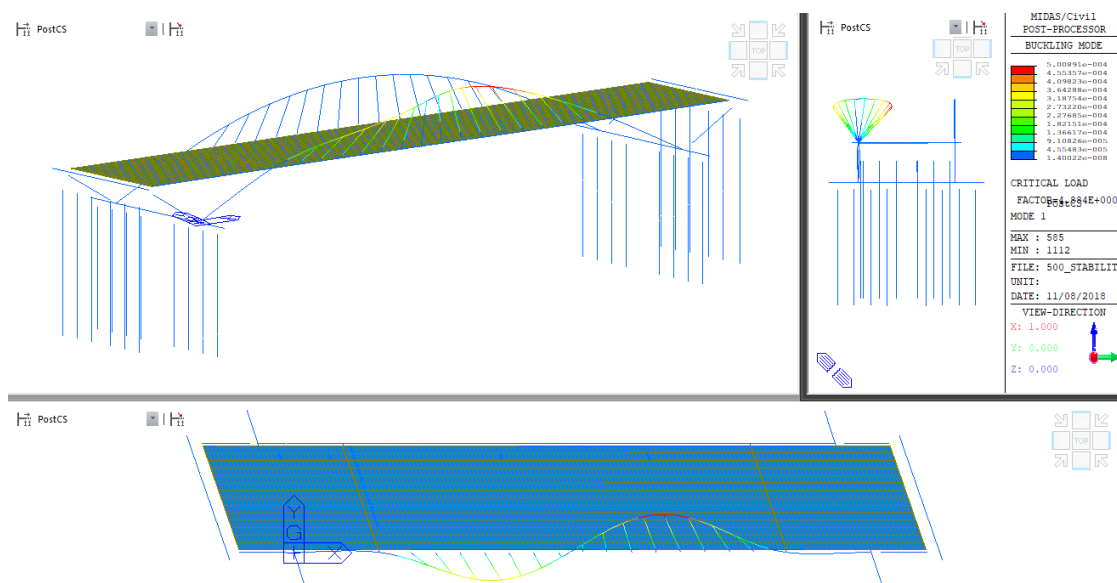
násobok zaťaženia pre zaťaženie dopravou (nepriaznive pre vrchol)  $K = 4.88$

násobok zaťaženia pre zaťaženie dopravou (nepriaznive obecné)  $K = 10,35$

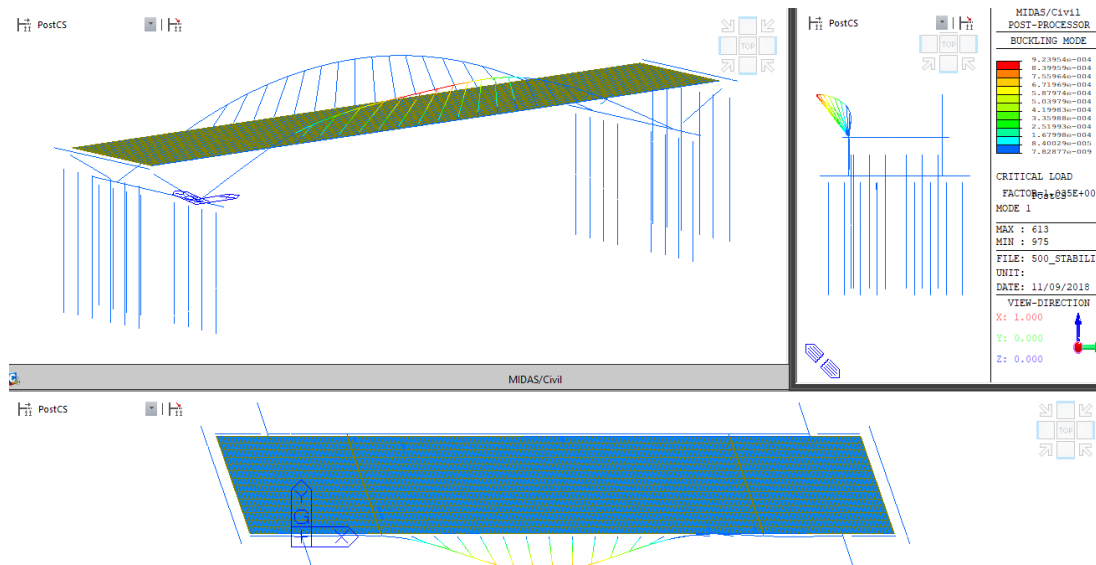
násobok zaťaženia pre vodorovné zaťaženie od vetra  $K = 56,6$

Najhorší kritický násobok od zaťaženia dopravou je menší ako 10 čo značí že konštrukcia je citlivá na celkovú stratu stability. Najnáchylnejšou časťou mosta na stabilitu je mostný oblúk. Ten bol v MSÚ posúdený s použitím Ncr zo stabilitnej analýzy.

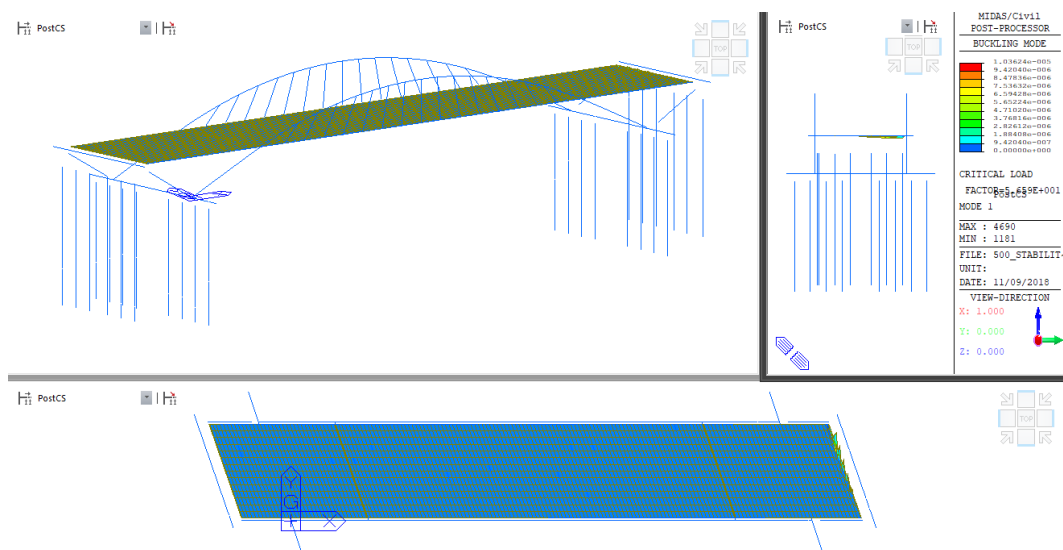
### Prvý stabilný tvar konštrukcie pri zaťažení dopravou (nepriaznive vrchol)



## Prvý stabilitný tvar konštrukcie pri zaťažení dopravou (nepriaznive obecné)



## Prvý stabilitný tvar konštrukcie pri zaťažení od vetra



Pre získanie návrhových hodnôt vnútorných síl je použitý nelineárny výpočet podľa teórie II. rádu s vložení počiatkovej imperfekcie do modelu s použitím najmenšieho 1. vlastného tvaru zo stabilitného výpočtu. Typ riešiča bol zvolený ako Newton-Raphson.

Pozn. : Pôvodná šírka oblúka bola navrhnutá na 400 mm. Prierez s touto šírkou splnil posudok na MSÚ ale vypočítané hodnoty kritických zaťažení sa blížili hodnote 2,5. Práve preto bola tuhosť prierezu v priečnom smere nakoniec zväčšená zošírením oblúka na 500 mm.



## 7 POSÚDENIE PRVKOV NA MSÚ

Konštrukcia bola posúdená z hľadiska medzného stavu únosnosti podľa [6]. Pre posudok boli vybrané hlavné nosné prvky a hlavné nosné spoje konštrukcie.

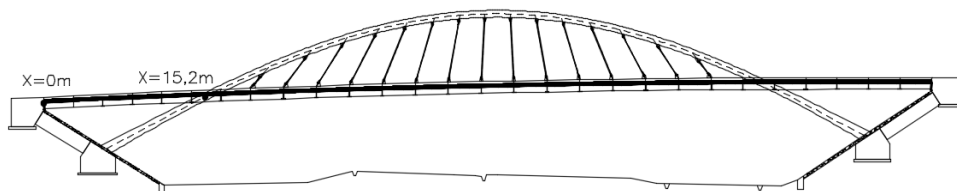
### 7.1 Vnútorne sily na hlavnej nosnej konštrukcii

Charakteristické hodnoty vnútorných síl pôsobiacich na jednotlivé prvky rozdelené podľa zaťažovacích stavov sú uvedené v prílohe P7. Maximálne a minimálne hodnoty od dopravného zaťaženia reprezentuje obálka najextrémnejších síl zo zaťažovacieho systému gr5. Maximálne a minimálne hodnoty výpočtových namáhání reprezentuje kombinácia 6.10a-01 v ktorej je doprava reprezentovaná systémom gr5. Ide o prehľadné výsledky. Pre návrh jednotlivých prvkov boli použité hodnoty podľa rozhodujúceho typu namáhania (myslené N, V,  $M_y$ ) a ostatné vnútorné sily korešpondujúce k extrémnej hodnote.

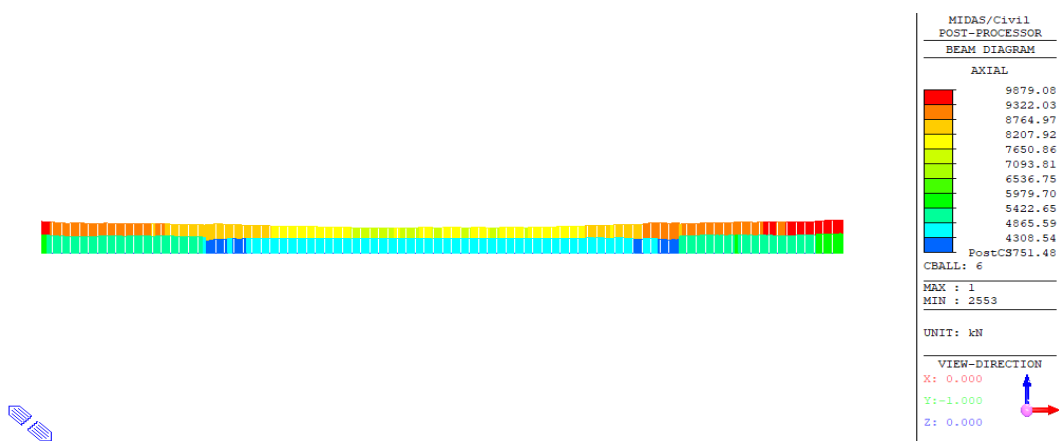
Konkrétne návrhové hodnoty pre posudky v jednotlivých rezoch na prvku sú uvedené vždy pri posudku jednotlivého prvku.

### 7.2 Posúdenie pozdĺžnikov

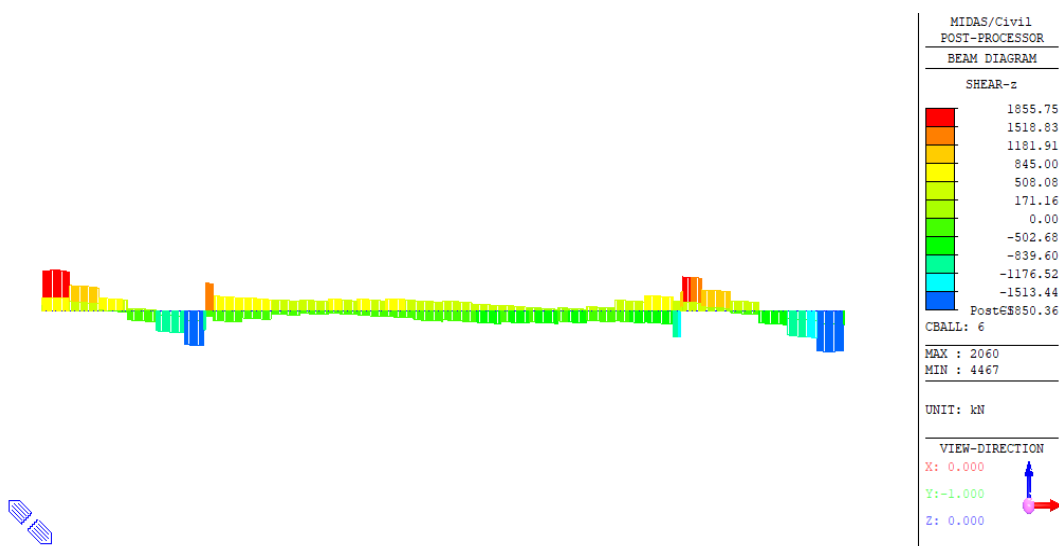
Prierez pozdĺžnikov je navrhnutý ako nesymetrický I profil s vonkajším krycím plechom. Prvok je posúdený v miestach  $x=0$  m,  $x=15,2$  m. V mieste  $x=0$  m vzniká najväčšie namáhanie pozdĺžnika a pre pre vystihnutie zmenšeného prierezu v mieste styku s oblúkom bol pozdĺžnik posúdený aj v mieste  $x=15,2$  m. Posudok je vypracovaný súlade s [6]. Posúdenie na klopenie prierezu nebolo vykonané vzhľadom na to že ŽB doska stabilizuje hornú tlačnú časť prútu, teda klopeniu bráni.



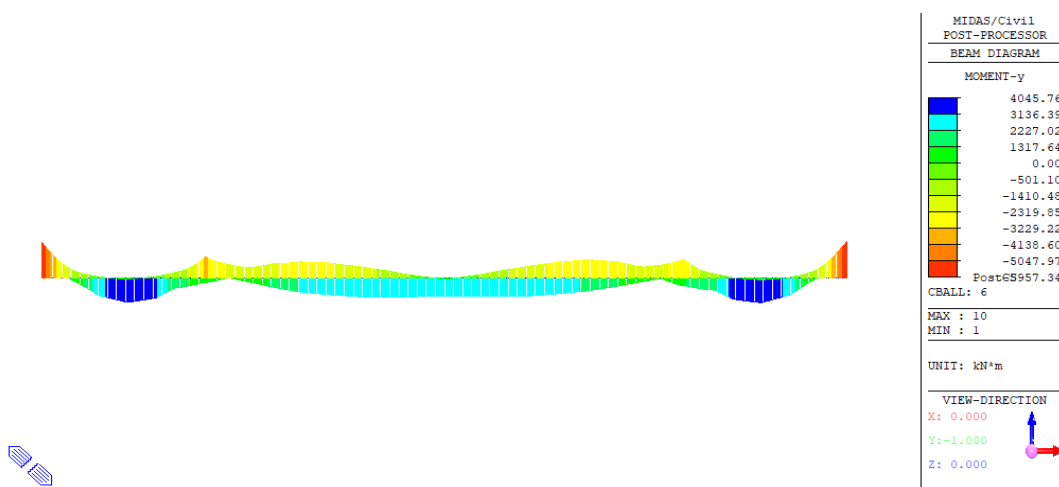
Obrázok 7.1: Posudzované rezy na pozdĺžniku



Obr. 7.1: Max/min návrhové obálkové hodnoty  $N$  (6.10b-02)



Obr. 7.2 : Max/min návrhové obálkové hodnoty  $V_z$  (6.10a-01)



Obr. 7.3 : Max/min návrhové obálkové hodnoty  $M_y$  (6.10b-02)



## 7.2.1 Posúdenie pozdĺžnika v mieste $x = 0\text{m}$ (detailný posudok v prílohe P8)

### 1. Materiál

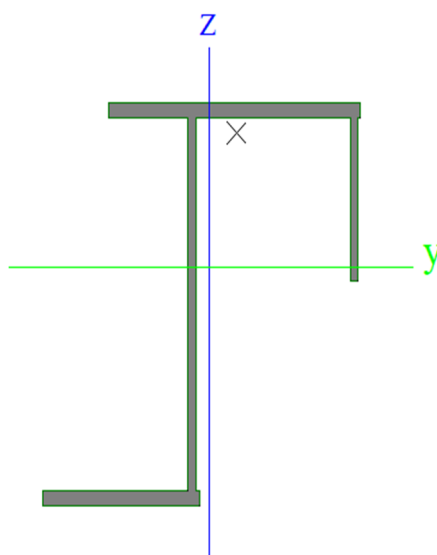
ocel: S355

 $f_y = 355 \text{ MPa}$ 
 $f_u = 490 \text{ MPa}$ 
 $E = 210000 \text{ MPa}$ 
 $G = 80769 \text{ MPa}$ 
 $\nu = 0,3$  -

### 2. Prierezove charakteristiky

#### Oceľ

$A =$	0,0829 m <sup>2</sup>
$A_{v,y} =$	0,0760 m <sup>2</sup>
$A_{v,z} =$	0,0380 m <sup>3</sup>
$I_y =$	0,0151 m <sup>4</sup>
$W_{y,el} =$	0,0237 m <sup>3</sup>
$W_{y,pl} =$	0,0312 m <sup>3</sup>
$i_y =$	0,4271 m
$z_y =$	0,3530 m
$I_z =$	0,0052 m <sup>4</sup>
$W_z =$	0,0103 m <sup>3</sup>
$W_{z,pl} =$	0,0151 m <sup>3</sup>
$i_z =$	0,2496 m



#### NÁVRHOVÉ VNÚTORNÉ SILY

$N_{Ed}$	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	$M_{x,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
4682	-250	-572	4	-5957	-370

#### POSUDKY PODĽA DRUHU NAMÁHANIA - MSÚ

Tlak	Ohyb		Šmyk		Vzper		Krútenie - Šmyk		Tlak - Ohyb	
(6.61) [6]	(6.12) [6]		(6.18) [6]		(6.47) [6]		(6.26) [6]		(6.61)	(6.62)
	y-y	z-z	y-y	z-z	y-y	z-z	y-y	z-z	[6]	
<b>0,16</b>	<b>0,71</b>	<b>0,10</b>	<b>0,02</b>	<b>0,07</b>	<b>0,16</b>	<b>0,16</b>	<b>0,02</b>	<b>0,08</b>	<b>0,79</b>	<b>0,58</b>
OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

## 7.2.2 Posúdenie pozdĺžnika v mieste $x = 15,2\text{m}$ (detailný posudok v prílohe P9)

### 1. Materiál

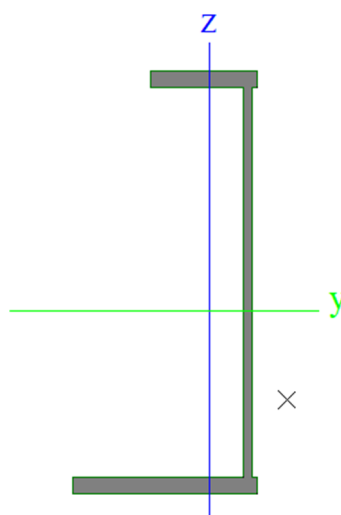
ocel: S355

 $f_y = 355 \text{ MPa}$ 
 $f_u = 490 \text{ MPa}$ 
 $E = 210000 \text{ MPa}$ 
 $G = 80769 \text{ MPa}$ 
 $\nu = 0,3$  -

### 2. Prierezove charakteristiky

#### Oceľ

$A =$	0,0568 m <sup>2</sup>
$A_{v,y} =$	0,0372 m <sup>2</sup>
$A_{v,z} =$	0,0267 m <sup>3</sup>
$I_y =$	0,0100 m <sup>4</sup>
$W_{y,el} =$	0,0160 m <sup>3</sup>
$W_{y,pl} =$	0,0216 m <sup>3</sup>
$i_y =$	0,4202 m
$z_y =$	0,2020 m
$I_z =$	0,0010 m <sup>4</sup>
$W_z =$	0,0028 m <sup>3</sup>
$W_{z,pl} =$	0,0058 m <sup>3</sup>
$i_z =$	0,1319 m



#### NÁVRHOVÉ VNÚTORNÉ SILY

$N_{Ed}$	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	$M_{x,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
7517	-122	-666	-48	-4032	-450

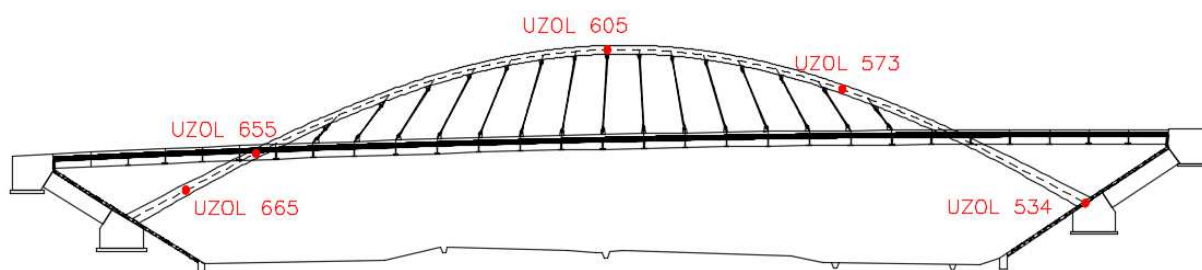
#### POSUDKY PODĽA DRUHU NAMÁHANIA - MSÚ

Tlak	Ohyb		Šmyk		Vzper		Krútenie - Šmyk		Tlak - Ohyb	
(6.61) [6]	(6.12) [6]		(6.18) [6]		(6.47) [6]		(6.26) [6]		(6.61)	(6.62)
	y-y	z-z	y-y	z-z	y-y	z-z	y-y	z-z	[6]	
<b>0,37</b>	<b>0,71</b>	<b>0,45</b>	<b>0,02</b>	<b>0,12</b>	<b>0,37</b>	<b>0,37</b>	<b>0,02</b>	<b>0,13</b>	<b>1,01</b>	<b>0,92</b>
OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	OK

Pozn. Posudok interakcie ohybu a normálovej sily vyhovie po redukcií momentovej špičky.

### 7.3 Posúdenie oblúkov

Konštrukcia bola posúdená z hľadiska medzného stavu únosnosti podľa [10]. Oblúky sú tvorené oceľovým uzatvoreným zvarovaným prierezom obdĺžnikového tvaru, ktorý bude po montáži vyplnený betónom. Pre posúdenie na MSÚ boli vybrané štyri rozličné miesta na oblúku, v ktorých bolo dosiahnuté maximálne namáhanie alebo miesta v ktorých sa mení prierez oblúka. Výsledné návrhové hodnoty sú získané z nelineárneho výpočtu so zohľadnením počiatočnej imperfekcie prútu. Posudzované prierezy sú na Obr. 7.4.



Obr. 7.4: Posudzované prierezy oblúkov

Výpočtové vnútorné sily - kombinácia 6.10a-01												
Uzol	Lineárna analýza						Nelineárna analýza s imperfekciou					
	N <sub>Ed</sub>	V <sub>y,Ed</sub>	V <sub>z,Ed</sub>	M <sub>x,Ed</sub>	M <sub>y,Ed</sub>	M <sub>z,Ed</sub>	N <sub>Ed</sub>	V <sub>y,Ed</sub>	V <sub>z,Ed</sub>	M <sub>x,Ed</sub>	M <sub>y,Ed</sub>	M <sub>z,Ed</sub>
534	-12099	86,6	-453,3	409,13	-4128,4	376,29	-12665	89,15	-445	425,14	-4154,2	402,27
573	-11407	-18,88	-240,98	9,38	-1026,3	-72,9	-11882	-17,6	-305,85	9,3	-915,35	-55,97
605	-9630,7	-0,42	-228,54	0,61	1312,95	84,31	-10109	-0,16	-223,11	-3,69	1429,31	94,27
655	-11961	-78,77	620,51	-507,88	623,14	-713,5	-12653	-71,61	553,9	-502,37	651,95	-709,61

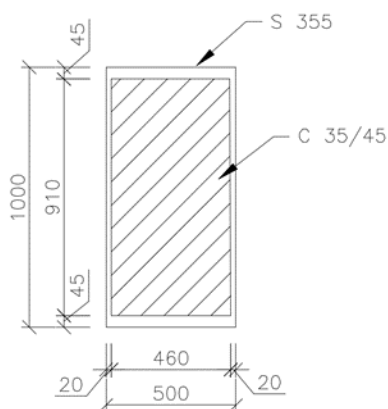
Spraženie oblúkov bolo navrhnuté konštrukčne so vzdialenosťou tŕnov 200 mm.

Detailnejšie informácie a raster tŕnov v oblúku sú uvedené vo výkrese č.4.

### 7.3.1 Posúdenie oblúka v uzle 534 (detailný posudok v prílohe P10)

#### 1. Materiál

ocel: S355

 $f_y = 335 \text{ MPa}$ 
 $f_u = 470 \text{ MPa}$ 
 $E = 210000 \text{ MPa}$ 
 $G = 80769 \text{ MPa}$ 
 $\nu = 0,3$ 


#### 2. Prierezove charakteristiky

Ocel'
 $A = 0,0996 \text{ m}^2$ 
 $A_{V,y} = 0,0396 \text{ m}^2$ 
 $A_{V,z} = 0,0546 \text{ m}^3$ 
 $I_y = 0,0140 \text{ m}^4$ 
 $W_{y,el} = 0,0281 \text{ m}^3$ 
 $W_{y,pl} = 0,0339 \text{ m}^3$ 
 $i_y = 0,3754 \text{ m}$ 
 $z_y = 0,5000 \text{ m}$ 
 $I_z = 0,0040 \text{ m}^4$ 
 $W_z = 0,0158 \text{ m}^3$ 
 $W_{z,pl} = 0,0185 \text{ m}^3$ 
 $i_z = 0,1993 \text{ m}$ 
 $z_z = 0,2500 \text{ m}$ 

#### NÁVRHOVÉ VNÚTORNÉ SILY

$N_{Ed}$	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	$M_{x,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
-12665	89	-445	425	-4154	402

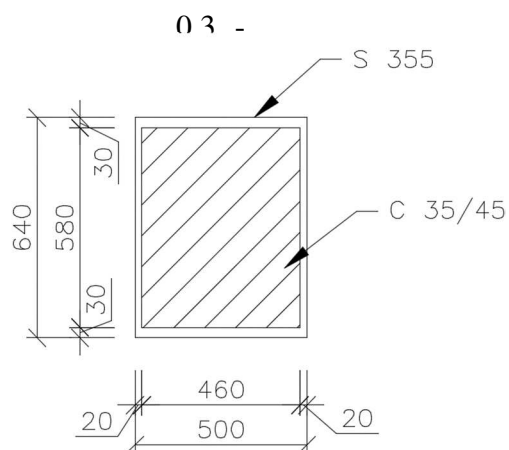
#### POSUDKY PODĽA DRUHU NAMÁHANIA - MSÚ

Tlak	Ohyb		Vzper		Tlak - Ohyb		Tlak - Ohyb
(6.30)			(6.44)		(6.46)	(6.46)	(6.47)
	y-y	z-z	y-y	z-z			
<b>0,34</b>	<b>0,39</b>	<b>0,07</b>		<b>0,51</b>	<b>0,61</b>	<b>0,10</b>	<b>0,70</b>
OK	OK	OK		OK	OK	OK	OK

### 7.3.2 Posúdenie oblúka v uzle 573 (detailný posudok v prílohe P11)

#### 1. Materiál

ocel: S355

 $f_y = 355 \text{ MPa}$ 
 $f_u = 510 \text{ MPa}$ 
 $E = 210000 \text{ MPa}$ 
 $G = 80769 \text{ MPa}$ 


#### 2. Prierezove charakteristiky

##### Ocel'

 $A = 0,0532 \text{ m}^2$ 
 $A_{v,y} = 0,0276 \text{ m}^2$ 
 $A_{v,z} = 0,0232 \text{ m}^2$ 
 $I_y = 0,0034 \text{ m}^4$ 
 $W_{y,el} = 0,0108 \text{ m}^3$ 
 $W_{y,pl} = 0,0125 \text{ m}^3$ 
 $i_y = 0,2544 \text{ m}$ 
 $z_y = 0,3200 \text{ m}$ 
 $I_z = 0,0020 \text{ m}^4$ 
 $W_z = 0,0078 \text{ m}^3$ 
 $W_{z,pl} = 0,0093 \text{ m}^3$ 
 $i_z = 0,1920 \text{ m}$ 
 $z_z = 0,2500 \text{ m}$ 

#### NÁVRHOVÉ VNÚTORNÉ SILY

$N_{Ed}$	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	$M_{x,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
-11882	-18	-306	9	-915	-56

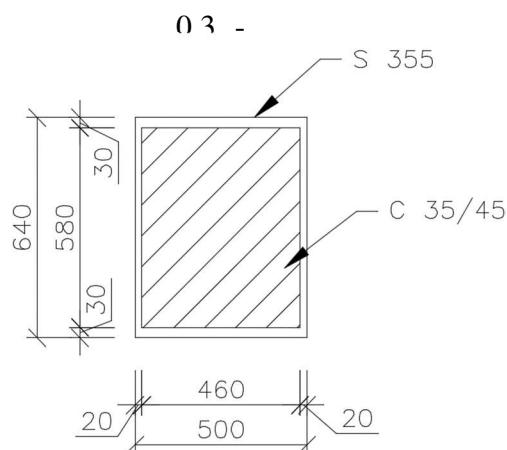
#### POSUDKY PODĽA DRUHU NAMÁHANIA - MSÚ

Tlak	Ohyb		Vzper		Tlak - Ohyb		Tlak - Ohyb
(6.30)			(6.44)		(6.46)	(6.46)	(6.47)
	y-y	z-z	y-y	z-z			
<b>0,55</b>	<b>0,22</b>	<b>0,02</b>		<b>0,74</b>	<b>0,36</b>	<b>0,03</b>	<b>0,39</b>
OK	OK	OK		OK	OK	OK	OK

### 7.3.3 Posúdenie oblúka v uzle 605 (detailný posudok v prílohe P12)

#### 1. Materiál

ocel: S355

 $f_y = 355 \text{ MPa}$ 
 $f_u = 510 \text{ MPa}$ 
 $E = 210000 \text{ MPa}$ 
 $G = 80769 \text{ MPa}$ 


#### 2. Prierezove charakteristiky

##### Ocel'

 $A = 0,0532 \text{ m}^2$ 
 $A_{v,y} = 0,0276 \text{ m}^2$ 
 $A_{v,z} = 0,0232 \text{ m}^2$ 
 $I_y = 0,0034 \text{ m}^4$ 
 $W_{y,el} = 0,0108 \text{ m}^3$ 
 $W_{y,pl} = 0,0125 \text{ m}^3$ 
 $i_y = 0,2544 \text{ m}$ 
 $z_y = 0,3200 \text{ m}$ 
 $I_z = 0,0020 \text{ m}^4$ 
 $W_z = 0,0078 \text{ m}^3$ 
 $W_{z,pl} = 0,0093 \text{ m}^3$ 
 $i_z = 0,1920 \text{ m}$ 
 $z_z = 0,2500 \text{ m}$ 

#### NÁVRHOVÉ VNÚTORNÉ SILY

$N_{Ed}$	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	$M_{x,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
-10109	0	-223	-4	1429	94

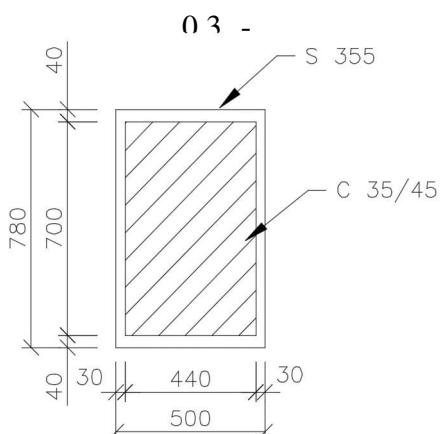
#### POSUDKY PODĽA DRUHU NAMÁHANIA - MSÚ

Tlak	Ohyb		Vzper		Tlak - Ohyb		Tlak - Ohyb
(6.30)			(6.44)		(6.46)	(6.46)	(6.47)
	y-y	z-z	y-y	z-z			
<b>0,47</b>	<b>0,34</b>	<b>0,03</b>		<b>0,77</b>	<b>0,66</b>	<b>0,05</b>	<b>0,71</b>
OK	OK	OK		OK	OK	OK	OK

### 7.3.4 Posúdenie oblúka v uzle 655 (detailný posudok v prílohe P13)

#### 1. Materiál

ocel: S355

 $f_y = 355 \text{ MPa}$ 
 $f_u = 510 \text{ MPa}$ 
 $E = 210000 \text{ MPa}$ 
 $G = 80769 \text{ MPa}$ 


#### 2. Prierezove charakteristiky

##### Ocel'

 $A = 0,0820 \text{ m}^2$ 
 $A_{V,y} = 0,0352 \text{ m}^2$ 
 $A_{V,z} = 0,0420 \text{ m}^3$ 
 $I_y = 0,0072 \text{ m}^4$ 
 $W_{y,el} = 0,0185 \text{ m}^3$ 
 $W_{y,pl} = 0,0222 \text{ m}^3$ 
 $i_y = 0,2962 \text{ m}$ 
 $z_y = 0,3900 \text{ m}$ 
 $I_z = 0,0032 \text{ m}^4$ 
 $W_z = 0,0126 \text{ m}^3$ 
 $W_{z,pl} = 0,0149 \text{ m}^3$ 
 $i_z = 0,1962 \text{ m}$ 
 $z_z = 0,2500 \text{ m}$ 

#### NÁVRHOVÉ VNÚTORNÉ SILY

$N_{Ed}$	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	$M_{x,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
-7418	1	755	-278	3539	1

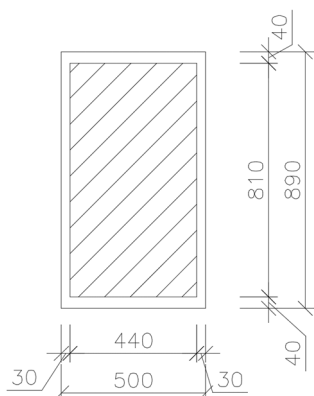
#### POSUDKY PODĽA DRUHU NAMÁHANIA - MSÚ

Tlak	Ohyb		Vzper		Tlak - Ohyb		Tlak - Ohyb
(6.30)			(6.44)		(6.46)	(6.46)	(6.47)
	y-y	z-z	y-y	z-z			
<b>0,40</b>	<b>0,49</b>	<b>0,00</b>		<b>0,29</b>	<b>0,65</b>	<b>0,00</b>	<b>0,65</b>
OK	OK	OK		OK	OK	OK	OK

### 7.3.5 Posúdenie oblúka v uzle 665 (detailný posudok v prílohe P14)

#### 1. Materiál

ocel: S355

 $f_y = 355 \text{ MPa}$ 
 $f_u = 510 \text{ MPa}$ 
 $E = 210000 \text{ MPa}$ 
 $G = 80769 \text{ MPa}$ 
 $\nu = 0,3$ 


#### 2. Prierezove charakteristiky

##### Ocel'

 $A = 0,0886 \text{ m}^2$ 
 $A_{V,y} = 0,0352 \text{ m}^2$ 
 $A_{V,z} = 0,0486 \text{ m}^3$ 
 $I_y = 0,0099 \text{ m}^4$ 
 $W_{y,el} = 0,0222 \text{ m}^3$ 
 $W_{y,pl} = 0,0268 \text{ m}^3$ 
 $i_y = 0,3341 \text{ m}$ 
 $z_y = 0,4450 \text{ m}$ 
 $I_z = 0,0035 \text{ m}^4$ 
 $W_z = 0,0141 \text{ m}^3$ 
 $W_{z,pl} = 0,0164 \text{ m}^3$ 
 $i_z = 0,1993 \text{ m}$ 
 $z_z = 0,2500 \text{ m}$ 

#### NÁVRHOVÉ VNÚTORNÉ SILY

$N_{Ed}$	$V_{y,Ed}$	$V_{z,Ed}$	$M_{x,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$M_{z,Ed}$
-12008	-73	389	-493	-1841	-344

#### POSUDKY PODĽA DRUHU NAMÁHANIA - MSÚ

Tlak	Ohyb		Vzper		Tlak - Ohyb		Tlak - Ohyb
(6.30)			(6.44)		(6.46)	(6.46)	(6.47)
	y-y	z-z	y-y	z-z			
<b>0,35</b>	<b>0,21</b>	<b>0,06</b>		<b>0,43</b>	<b>0,29</b>	<b>0,08</b>	<b>0,37</b>
OK	OK	OK		OK	OK	OK	OK

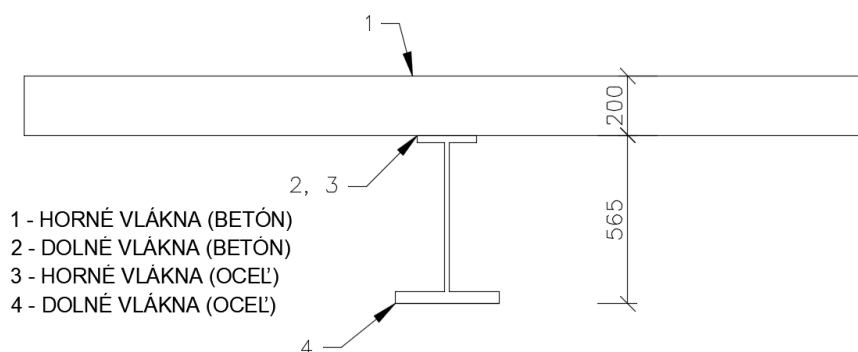


## 7.4 Posúdenie priečnikov

Posúdenie priečnikov na MSÚ a MSP bolo prevedené v programe Mathcad 15.0. Detailný výstup zo statického posudku je uvedený v prílohe P15.

V rámci MSP boli posúdené napätia v horných a dolných vláknach ocelového profilu aj betónovej dosky. V posudku bol zohľadnený montážny stav a aj vplyv reologických zmien.

Napätia boli posudzované v miestach zobrazených na Obr. 7.5.



Obr. 7.5: Posudzovaný prierez

Tab. 7.1 : Vnútorne sily pre posúdenie

Vnútorne sily pre posúdenie MSÚ - rozhodujúca kombinácia (ohyb)			
C_6.10a_max	N [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>y</sub> [kNm]
	442,56	231,54	3039,42

Vnútorne sily pre posúdenie MSP			
Rozdelenie podľa pôsobenia v čase	maximálne hodnoty		
	N [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>y</sub> [kNm]
Montáž	11,96	110,61	523,25
Krátkodobé zaťaženie	401,07	468,58	1754,93
Dlhodobé zaťaženie	12,46	37,69	131,54

### Predpoklad 2: neutrálna osa prechádza pásnicou ocelového nosníku:

$$\text{vzdialenosť od vrchného líca pásnice: } x_2 := \frac{A_a \cdot f_{yd} - (b_{\text{eff}} \cdot 0.85 \cdot f_{cd} \cdot t_c)}{2 \cdot f_{yd} \cdot b_{f1}} = -1.99 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Posúdenie\_neutr\_osi} := \begin{cases} \text{"Neutr. osa prechádza pásnicou"} & \text{if } x_2 \leq t_{f1} \\ \text{"Neutr. osa neprechádza pásnicou"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Neutr. osa prechádza pásnicou"} \quad \beta := 1$$

$$M_{pl.Rd.2} := \beta \cdot f_{yd} \cdot \left[ b_{f1} \cdot t_{f1} \cdot \left( \frac{t_c}{2} + \frac{t_{f1}}{2} \right) + t_w \cdot h_w \cdot \left( t_{f1} + \frac{t_c}{2} + \frac{h_w}{2} \right) + b_{f2} \cdot t_{f2} \cdot \left( h_n - \frac{t_c}{2} - \frac{t_{f2}}{2} \right) - b_{f1} \cdot x_2 \cdot \left( \frac{t_c}{2} + \frac{x_2}{2} \right) \right]$$

$$M_{1Sd} = 3039.42 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{pl.Rd.2} = 3423.76 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

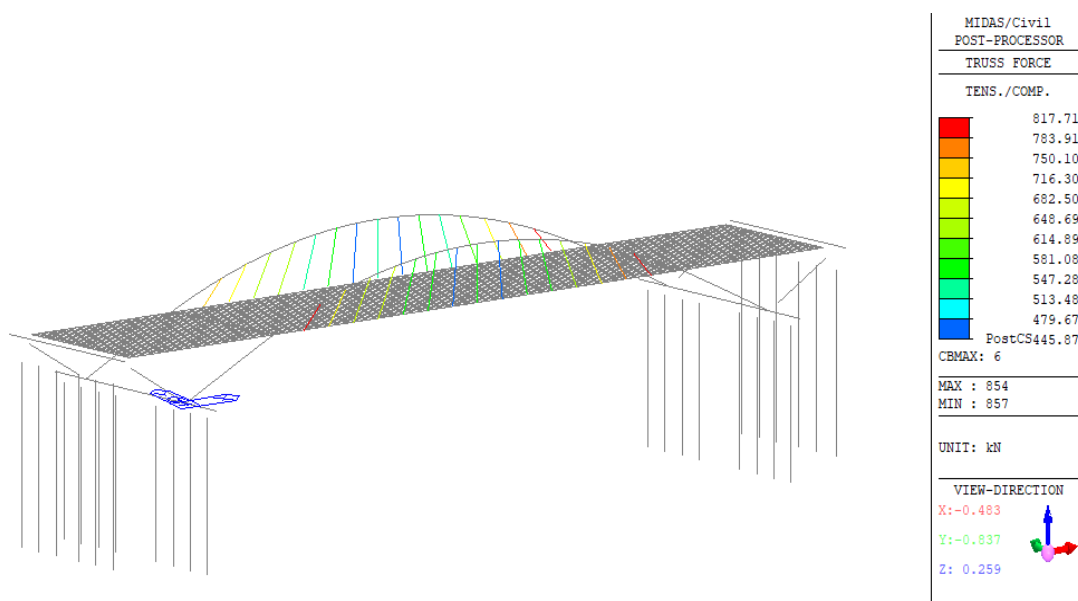
$$\text{Posúdenie\_ohyb} := \begin{cases} \text{"VYHOVUJE"} & \text{if } M_{pl.Rd.2} \geq M_{1Sd} \\ \text{"NEVYHOVUJE"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"VYHOVUJE"}$$

$$\frac{M_{1Sd}}{M_{pl.Rd.2}} = 88.77\%$$

Napätie v MSP	Začiatok prevádzky t = 40 dní				Celkom
	Montážne	Dlhodobé	Krátkodobé		
	523,25	131,54	1754,93		kNm
prierez	oceľový	krátkodobý	krátkodobý		
n <sub>L</sub>	-	6,56	6,56		-
Betón horné vlákna	M/W*n	0	-0,7	-9,28	-9,98 Mpa
Betón dolné vlákna	M/W*n	0	-0,03	-0,42	-0,45 Mpa
Ocel horné vlákna	M/W	-148,88	-0,21	-2,74	-151,83 Mpa
Ocel dolné vlákna	M/W	79,63	12,21	161,62	253,46 Mpa

Napätie v MSP	Koniec životnosti t = 36500 dní				Celkom
	Montážne	Dlhodobé	Krátkodobé		
	523,25	131,54	1754,93		kNm
prierez	oceľový	krátkodobý	krátkodobý		
n <sub>L</sub>	-	18,09	6,56		-
Betón horné vlákna	M/W*n	0	-0,49	-9,28	-9,77 Mpa
Betón dolné vlákna	M/W*n	0	-0,18	-0,42	-0,6 Mpa
Ocel horné vlákna	M/W	-148,88	-3,49	-2,74	-155,11 Mpa
Ocel dolné vlákna	M/W	79,63	13,08	161,62	254,33 Mpa

## 7.5 Posúdenie závesov



Číslo elementu	Minimum	Maximum
839	353,82	814,66
840	267,01	557,24
841	164,40	459,80
842	170,36	465,72
843	268,91	574,51
844	238,45	550,75
845	323,63	642,80
846	320,32	705,42
847	301,94	781,62
848	269,33	574,98
849	249,38	562,58
850	343,67	656,43
851	272,38	653,91
852	218,45	715,45
853	276,91	810,17

Číslo elementu	Minimum	Maximum
854	362,71	817,71
855	269,68	544,94
856	167,80	448,53
857	167,99	447,20
858	264,23	553,02
859	230,01	525,13
860	310,08	614,01
861	317,62	683,18
862	311,94	769,06
863	269,23	559,90
864	245,11	542,86
865	335,52	630,59
866	267,44	629,18
867	213,50	683,91
868	241,19	733,24

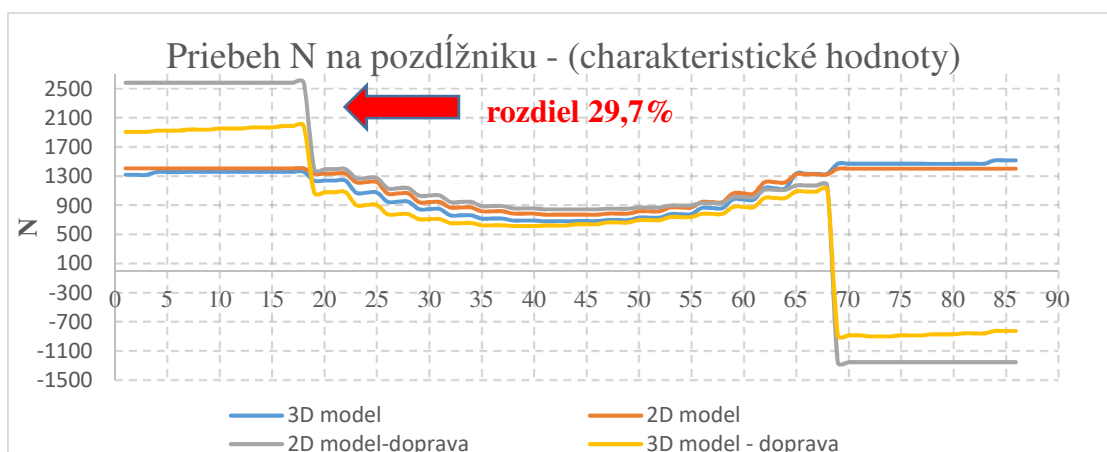
Posúdenie závesov:

$$N_{t,max} = 817,71 \text{ kN} < N_{el,Rd} = 1095 \text{ kN} \quad \dots \text{prierez vyhovie}$$

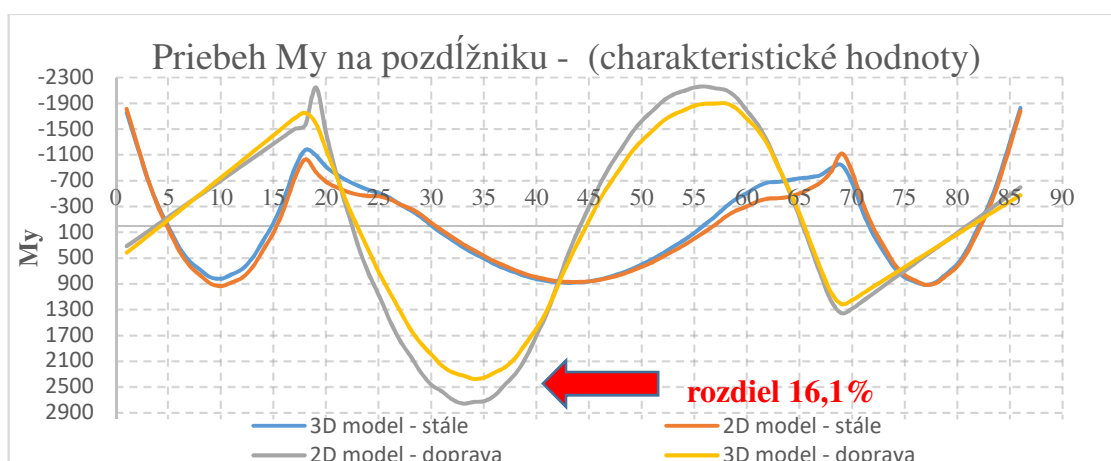
Únosnosť z katalógu výrobkov Macalloy [24].

## 7.6 Porovnanie výsledkov lineárnej analýzy 2D a 3D modelu

### 7.6.1 Pozdĺžnik



Obr. 7.6: Porovnanie normálových síl na pozdĺžniku

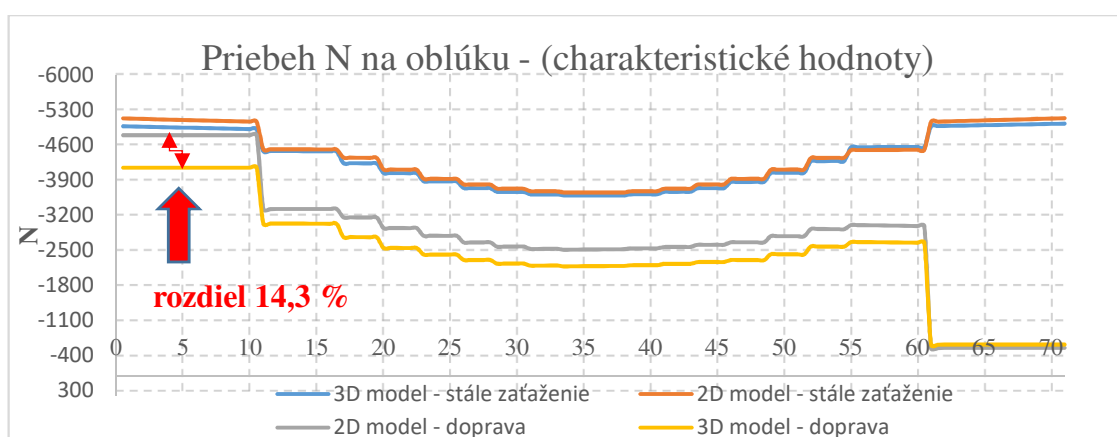


Obr. 7.7: Porovnanie ohybových momentov na pozdĺžniku

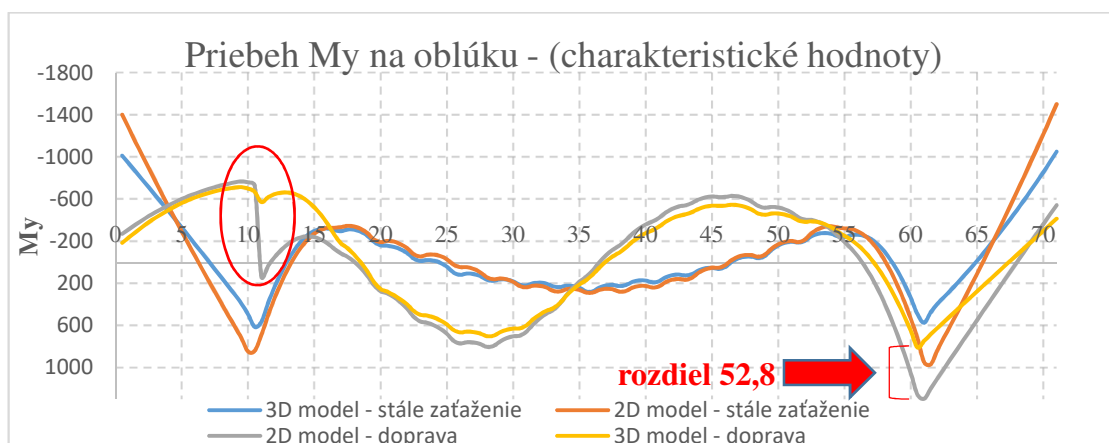
Z Obr. 7.7 vidno že väčší rozdiel v hodnotách ohybových momentov vykazuje zaťaženie dopravou. Dôvodom je nezohľadnenie tuhosti mostovkového roštu, teda ŽB dosky a priečnikov ktoré priamo prenášajú zaťaženie od dopravy. MKP výpočet nezohľadňuje iba súčet zaťažení pôsobiach na konštrukciu ale vytvára globálnu maticu tuhosti z lokálnych tuhostí jednotlivých prvkov. 2D model berie do výpočtu iba tuhosť pozdĺžnika. To samozrejme nezodpovedá skutočnému stavu. Predpokladáme, že menej tuhý prvok vyvolá väčšie hodnoty vnútorných síl. Toto tvrdenie potvrdzuje malý rozdiel v namáhaní od pôsobenia vlastnej tiaže. Vlastnú tiaž reálne v oboch modeloch preberajú priamo

namodelovné prúty a teda pomerná tuhosť je úmerná tuhosti prenášajúcej zaťaženie v 3D modeli. Ďalším dôvodom pre očakávanie väčších vnútorných síl je nepredopnutie závesov použitých na uchytenie mostovky. Predopnutie sa laicky povedané snaží odľahčiť pozdĺžnik a sily vnáša do oblúka ktorý ich vďaka svojmu klenbovému efektu zvládne preniesť lepšie.

## 7.6.2 Oblúk



Obr. 7.8: Porovnanie normálových síl na oblúk



Obr. 7.9: Porovnanie ohybových momentov na oblúku

Významný vplyv na správnosť výsledkov má správne určenie vodorovnej tuhosti ktorú priradíme spodnej stavbe mosta. Tá pri integrovaných mostoch môže významne ovplyvniť výsledky hlavne pri zaťažení teplotou. V tomto prípade tuhosť priamo ovplyvňuje veľkosť normálovej sily v pozdĺžniku aj oblúku bez ohľadu na to či zaťaženie teplotou aplikujem. Nezrovnalosťou v 2D modeli je aj momentový skok, ktorý nezodpovedá reálnemu pôsobeniu.

## 8 POSÚDENIE PRVKOV NA MSP

Podmienky použiteľnosti boli overené podľa požiadavok uvedených v [1].  
Podudzované podmienky použiteľnosti sú :

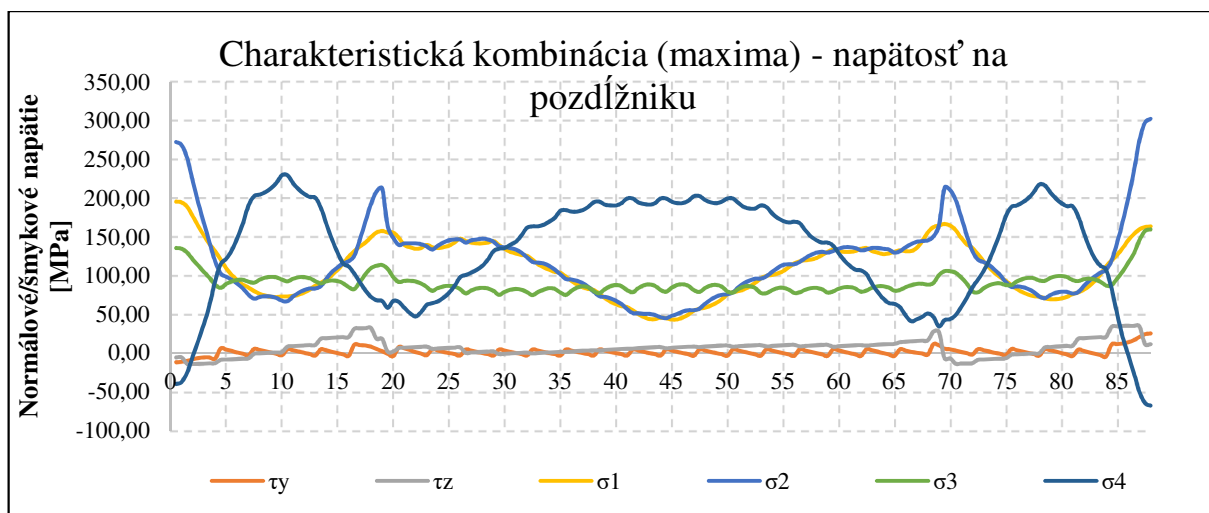
- prekročenie medze klzu,
- obmedzenie tlakového napätia v betóne,
- nadmerné deformácie,
- napätosť prierezov pri výstavbe,
- vyšetrenie vlastných frekvencií konštrukcie.

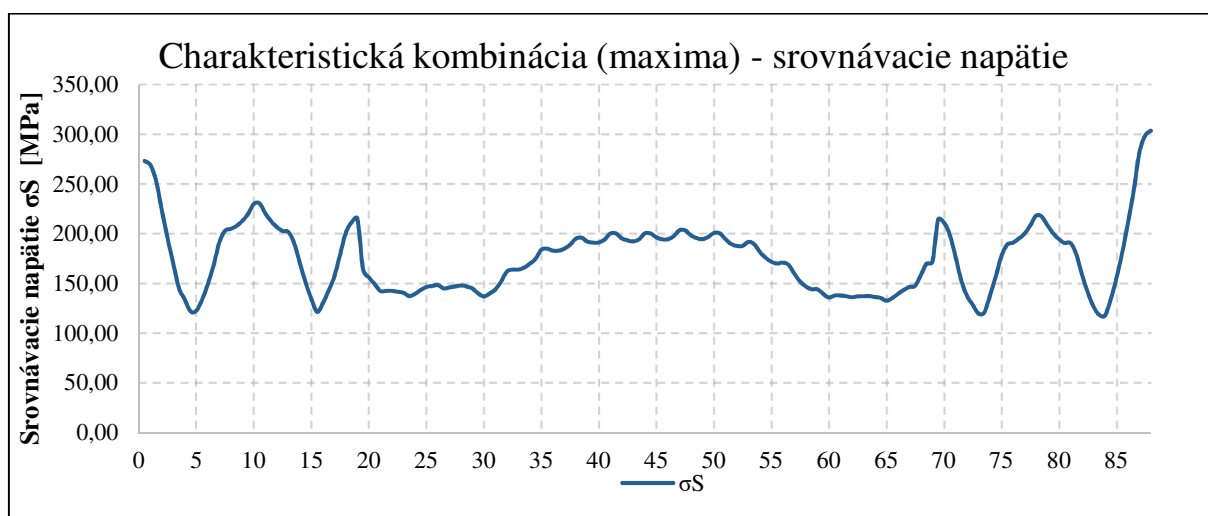
### 8.1 Posúdenie napätosti

Pri oceľobetónových mostoch sa tlaková napätosť v betóne od charakteristickej kombinácie zaťaženií obmedzuje na  $\sigma_c \leq 0,6 \times f_{ck}$ . Splnenie tejto hodnoty zabráňuje vzniku pozdĺžnych trhlín, mikrotrhlín a nadmerných deformácií. Pri plnom ovynutí betónu oceľovým truhlíkom však vznik deformácie nepredpokladáme. Konzervatívne však bolo napätie v betóne vyčíslené.

Pre overenie napätosti v oceli bol použitý vzťah  $\sqrt{\sigma_{Ed,ser}^2 + 3\tau_{Ed,ser}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M,ser}}$

#### 8.1.1 Overenie napätosti na pozdĺžnikoch





### Posúdenie na MSP

V každom reze a vo všetkých vláknach je splnená podmienka :

Pre normálové a zrovnávacie napätie:

$$\sigma_{Ed,ser} \leq f_y/\gamma_{m,ser} = 355/1,00 = \mathbf{355 \text{ Mpa}} \quad (t \leq 40 \text{ mm})$$

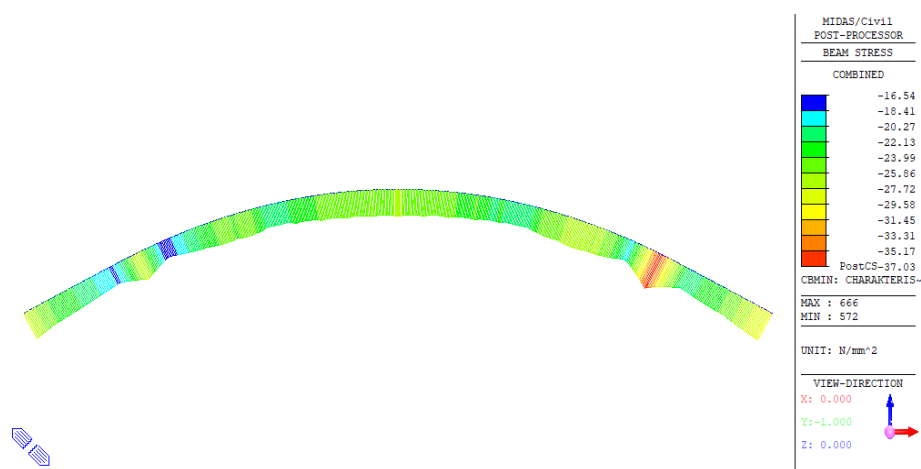
$$\sigma_{Ed,ser} \leq f_y/\gamma_{m,ser} = 335/1,00 = \mathbf{335 \text{ Mpa}} \quad (t \geq 40 \text{ mm})$$

Pre šmykové napätie:

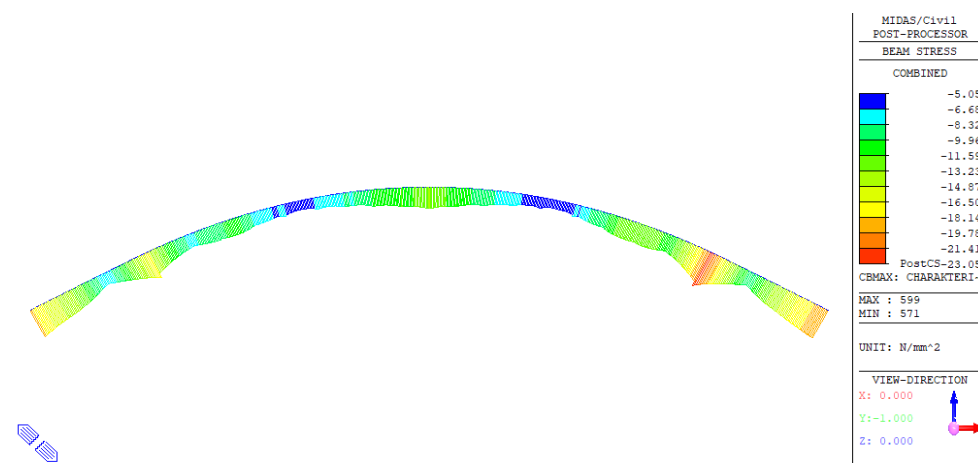
$$\tau_{Ed,ser} \leq f_y/(\gamma_{m,ser} \times 3^{0,5}) = 355/(1 \times 3^{0,5}) = \mathbf{204,96 \text{ Mpa}} \quad (t \leq 40 \text{ mm})$$

$$\tau_{Ed,ser} \leq f_y/(\gamma_{m,ser} \times 3^{0,5}) = 335/(1 \times 3^{0,5}) = \mathbf{193,41 \text{ Mpa}} \quad (t \geq 40 \text{ mm})$$

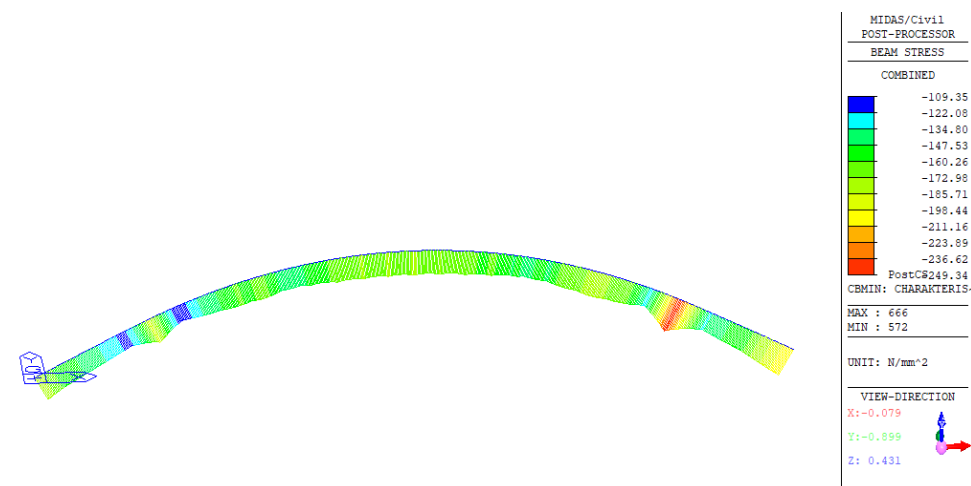
### 8.1.2 Overenie napätosti v oblúkoch



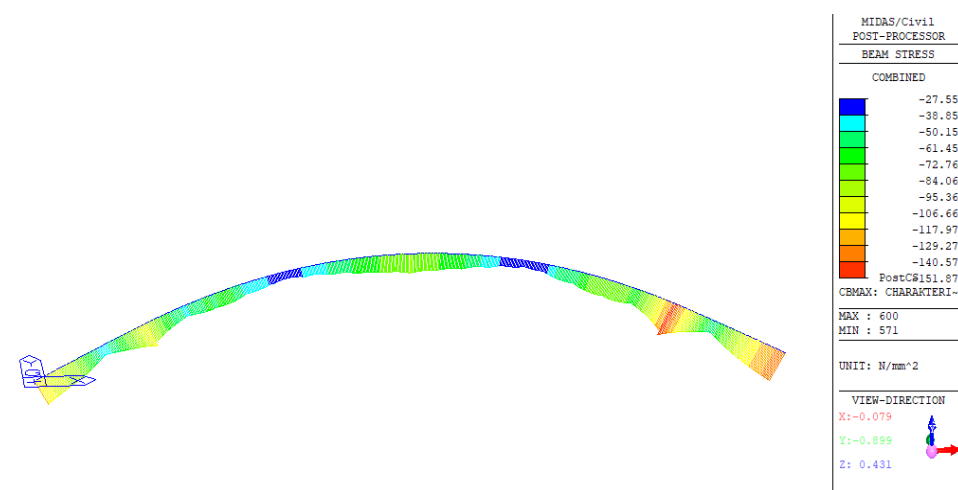
Obr. 8.1 : Najväčšia tlaková napätosť v betónovej časti prierezu



Obr. 8.2 : Najmenšia tlaková napätosť v betónovej časti prierezu



Obr. 8.3 : Najmenšia tlaková napätosť v ocelovej časti prierezu



Obr. 8.4 : Najväčšia tlaková napätosť v ocelovej časti prierezu



### Posúdenie na MSP

V každom reze a vo všetkých vláknach je splnená podmienka :

#### **Oceľ**

Pre normálové a zrovnávacie napätie:

$$\sigma_{Ed,ser} \leq f_y/\gamma_{m,ser} = 355/1,00 = \mathbf{355 \text{ Mpa}} \quad (t \leq 40 \text{ mm})$$

$$\sigma_{Ed,ser} \leq f_y/\gamma_{m,ser} = 335/1,00 = \mathbf{335 \text{ Mpa}} \quad (t \geq 40 \text{ mm})$$

Pozn. : Vplyv Navierovej hypotézy nebol pri vyčíslovaní napätí uvažovaný vzhľadom na veľký polomer oblúka a vzhľadom na použitý prierez. Predpokladá sa, že uzavretý truhlíkový prierez nebude namáhaný priečnym ohybom pretože stojiny prierezu pôsobia ako výztuhy pásnic a teda bránia ich priečnym deformáciám.

#### **Betón**

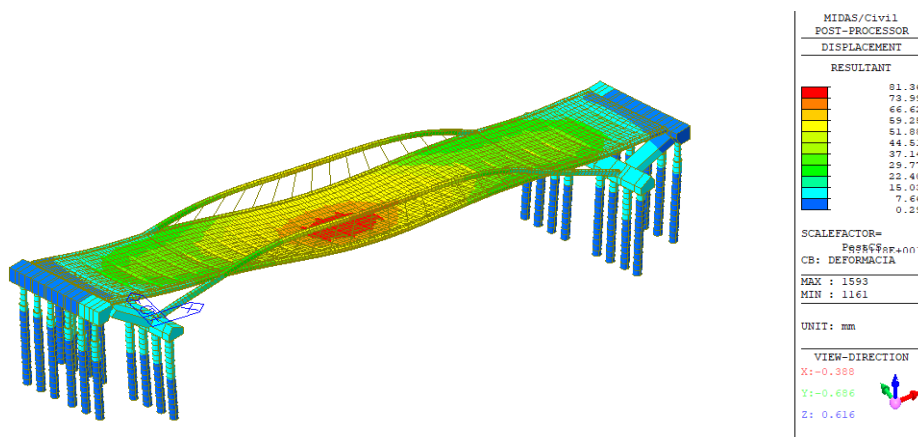
$$\sigma_c \leq 0,6 \times f_{ck} = 0,6 \times 35 = \mathbf{21 \text{ Mpa}}$$

Napätie v betóne prekračuje hodnotu 21 MPa. V globálnom modeli však nieje uvažované lokálne zosilnenie profilu oblúka v mieste styku s pozdĺžnikom. Preto bol zistený pomer únosnosti zosilneného prierezu voči prierezu použitému v globálnom modeli.

Zistená napätosť z globálneho modelu bola vynásobená zisteným pomerom 0,56. Výsledná hodnota napätosti v betóne je 21 MPa. ....**vyhovuje**

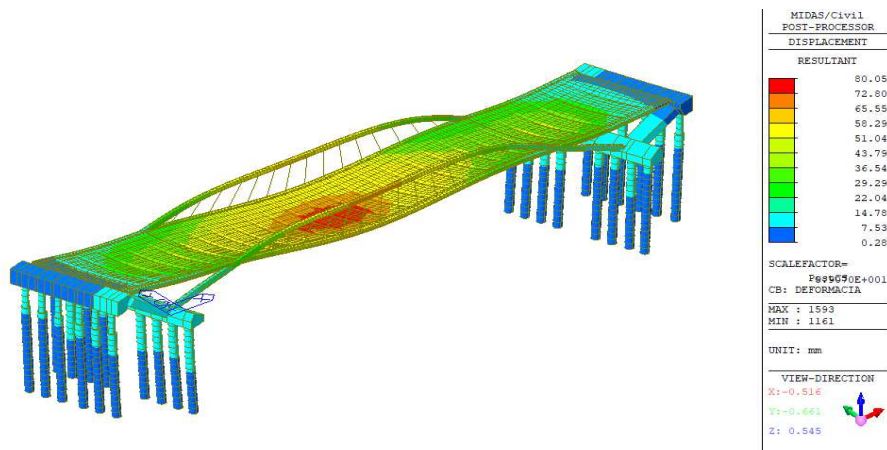
## **8.2 Deformácie mosta**

Pozdĺžniky a oblúky budú navýšené pre plnú hodnotu dlhodobých zaťažení a pre 25% hodnoty priehybu od krátkodobého zaťaženia. Navrhnutý priehyb zohľadňuje históriu namáhania konštrukcie vrátane montážnych stavov (TDA analýza).

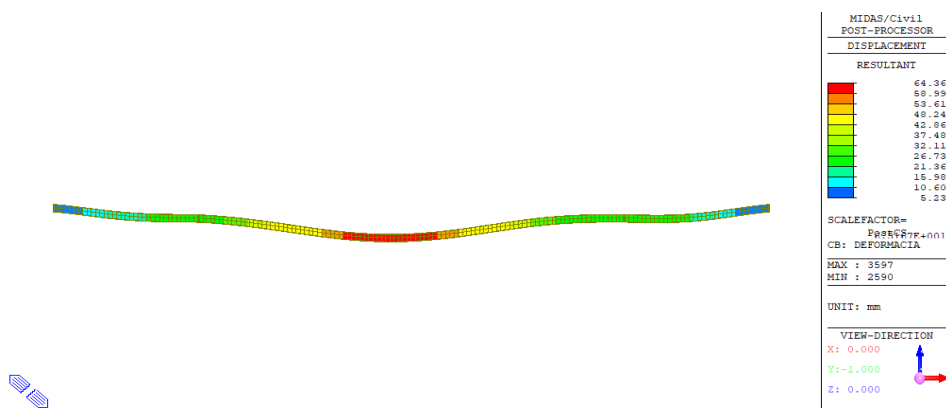


Obr. 8.5: Globálna deformácia mosta (stále + 25% doprava) - stred

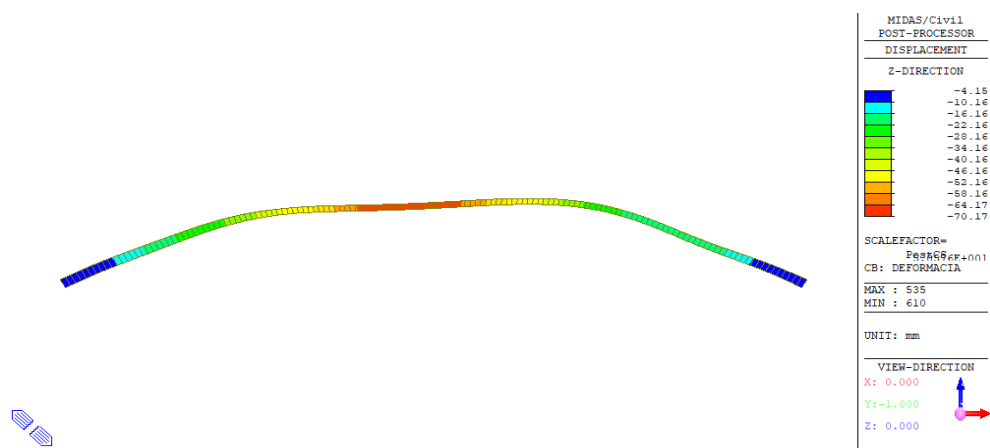
Medzný priehyb bol zobrazený z tabuľky vedenej v NA2.23 normy ČSN EN 1993-2. Medzná hodnota bola zvolená  $L/400$ . Táto norma tiež prikazuje pre oblúkové mosty určit' priehyb aj v  $1/4$  rozpätia.



Obr. 8.6: Globálna deformácia mosta (stále + 25% doprava) - 1/4



Obr. 8.7: Celková deformácia pozdĺžnika



Obr. 8.8 : Celková deformácia oblúka

Výška nadvýšenia je premenná po dĺžke prierezov. Maximálna hodnota nadvýšenia pozdĺžnika je navrhnutá na 65 mm. Maximálna hodnota v oblúku je 70 mm. Nadvýšenie je navrhnuté parabolicky, podľa max. hodnôt deformácií jednotlivých prvkov. Výpočet nadvýšenia priečnikov je uvedený v statickom posudku priečnikov v prílohe P15.

Posúdenie limitného priehybu pozdĺžnika:

$$65 < L/400$$

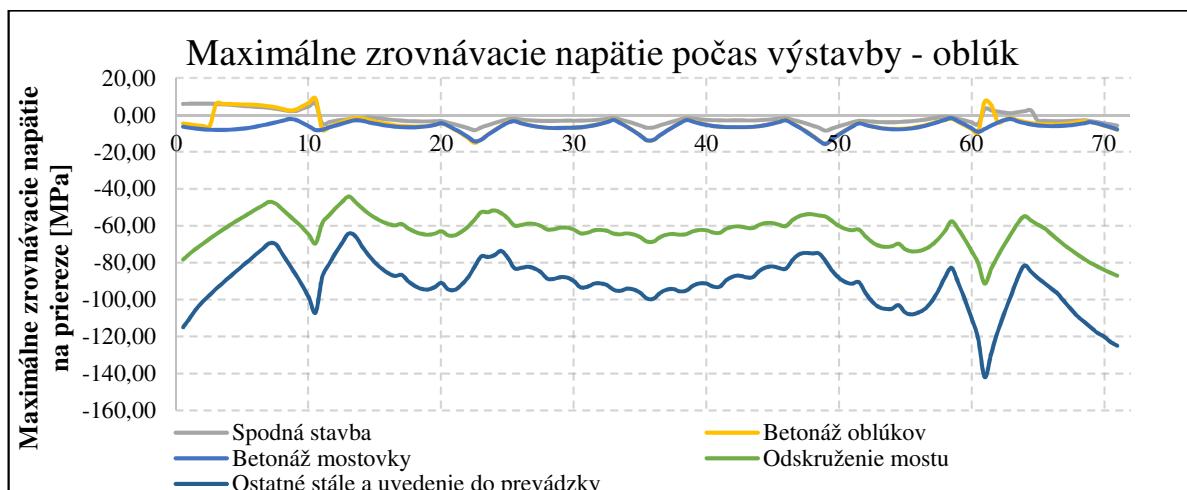
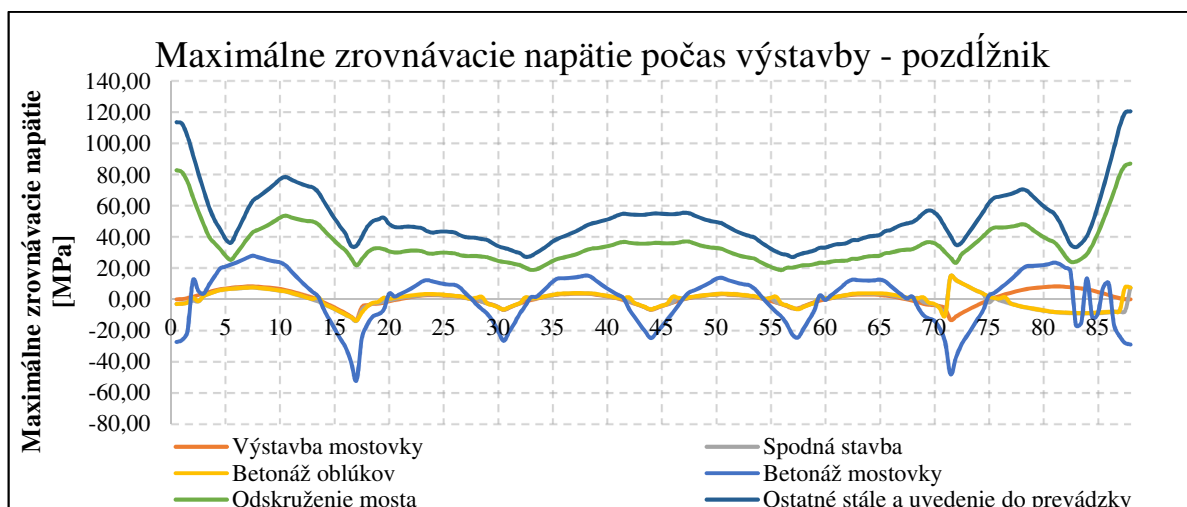
65 < 212,5 mm ... **vyhovuje**

Posúdenie limitného priehybu oblúka:

$$70 < L/400$$

70 < 177,5 mm ... **vyhovuje**

### 8.3 Overenie napätosti počas výstavby



#### Posúdenie na MSP

V každom reze a vo všetkých vláknach je splnená podmienka :

Pre normálové a zrovnávacie napätie:

$$\sigma_{Ed,ser} \leq f_y/\gamma_{m,ser} = 355/1,00 = \mathbf{355 \text{ Mpa}} \quad (t \leq 40 \text{ mm})$$

$$\sigma_{Ed,ser} \leq f_y/\gamma_{m,ser} = 335/1,00 = \mathbf{335 \text{ Mpa}} \quad (t \geq 40 \text{ mm})$$

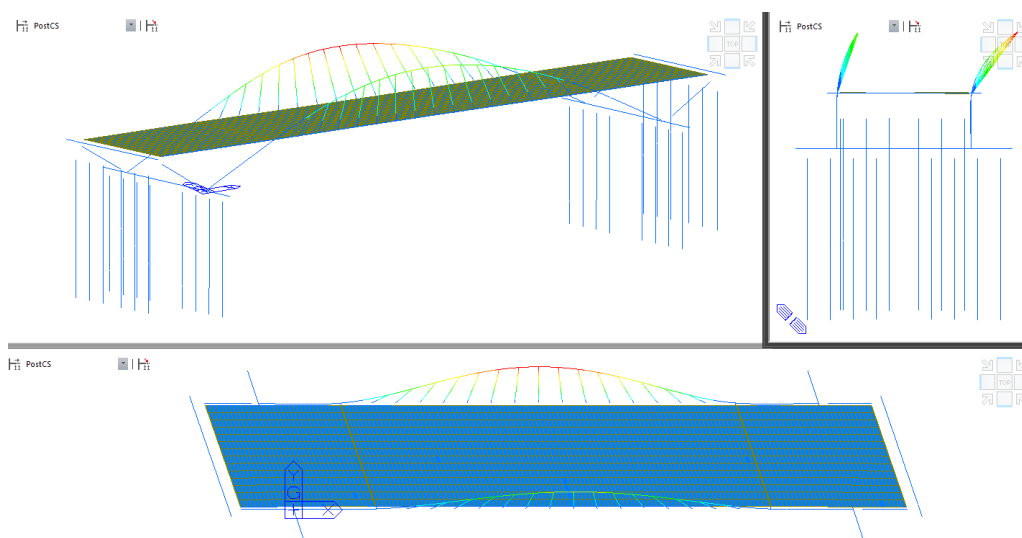
## 8.4 Vlastné tvary konštrukcie

V rámci modálnej analýzy boli spočítané vlastné tvary konštrukcie pri ustálenom kmitaní vo vlastnej frekvencii. Bolo vyhodnotených prvých 10 vlastných tvarov. Z vypočítaných hodnôt vyplýva že by mohlo dôjsť k výraznejšiemu kmitaniu a nepohody pri prevádzke na moste. Posudok mosta by teda mal obsahovať aj analýzu harmonicky vybudeneho kmitania.

Node	Mode	UX		UY		UZ		RX		RY		RZ	
EIGENVALUE ANALYSIS													
	Mode No	Frequency (rad/sec)		(cycle/sec)		Period (sec)		Tolerance					
	1	5,317979		0,846383		1,181499		3,94E-29					
	2	5,44483		0,866572		1,153973		3,94E-29					
	3	12,658165		2,01461		0,496374		4,19E-26					
	4	13,698229		2,180141		0,458686		1,18E-25					
	5	14,38936		2,290138		0,436655		9,71E-25					
	6	14,863258		2,365561		0,422733		3,30E-22					
	7	15,167584		2,413996		0,414251		1,18E-22					
	8	17,714458		2,819344		0,354692		1,57E-19					
	9	19,035571		3,029605		0,330076		1,70E-19					
	10	21,016992		3,344958		0,298957		2,93E-17					
MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT													
	Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z	
		MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
	1	0	0	4,44	4,44	0	0	3,62	3,62	0	0	0	0
	2	0	0	0,78	5,22	0	0	0,63	4,24	0	0	0,01	0,02
	3	1,82	1,82	2,74	7,96	0,04	0,05	0,25	4,5	4,37	4,38	0	0,02
	4	1,15	2,97	41,42	49,37	0,07	0,11	4,67	9,16	0,02	4,39	0	0,02
	5	0	2,98	0,09	49,47	23,32	23,43	0,01	9,18	0,02	4,42	0,26	0,28
	6	0	2,98	0	49,47	0,15	23,58	0	9,18	0	4,42	0,91	1,19
	7	0	2,98	0,35	49,81	0,09	23,67	0,06	9,24	0	4,42	0,19	1,38
	8	0	2,99	0	49,82	0,07	23,75	0,03	9,27	0	4,42	0,02	1,4
	9	47,65	50,63	0	49,82	0	23,75	2,09	11,37	5,97	10,39	0	1,41
	10	0	50,63	0	49,83	12,18	35,93	0	11,37	0	10,4	0,01	1,41

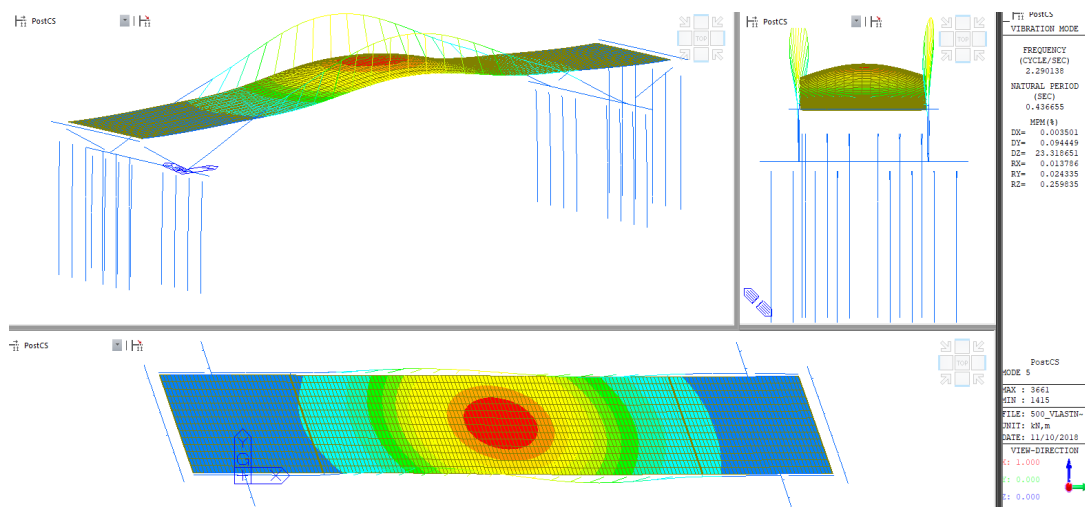
Obr. 8.9 : Vyhodnotenie modálnej analýzy

### 1. Vlastný tvar $f = 0,842$ Hz

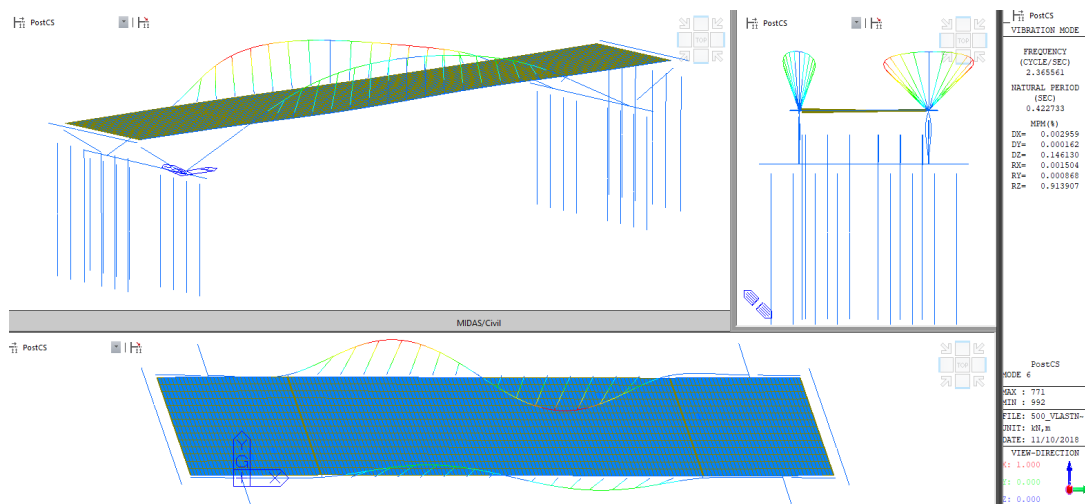




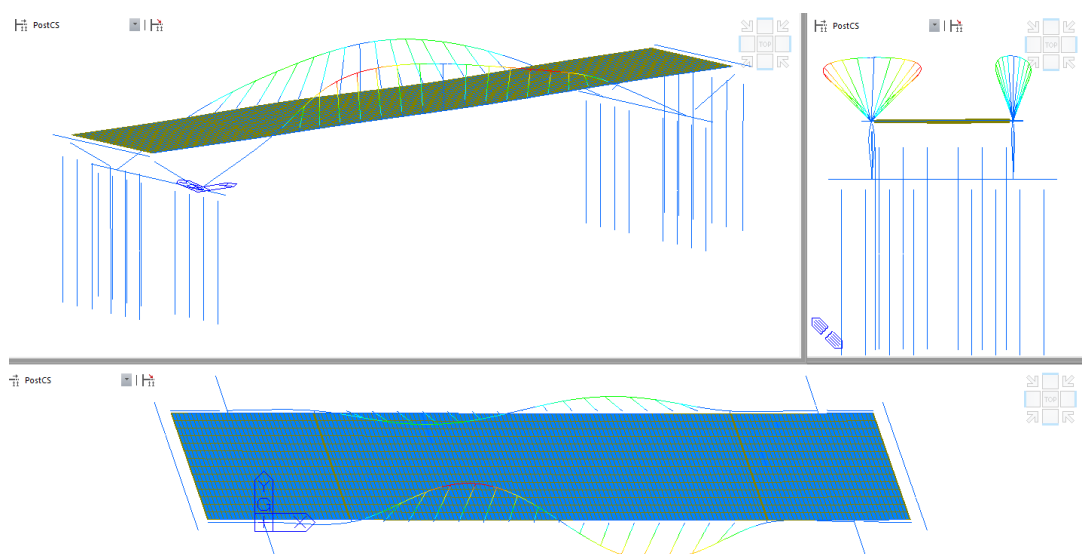
## 5. Vlastný tvar $f = 2.290\text{Hz}$



## 6. Vlastný tvar $f = 2.366\text{ Hz}$

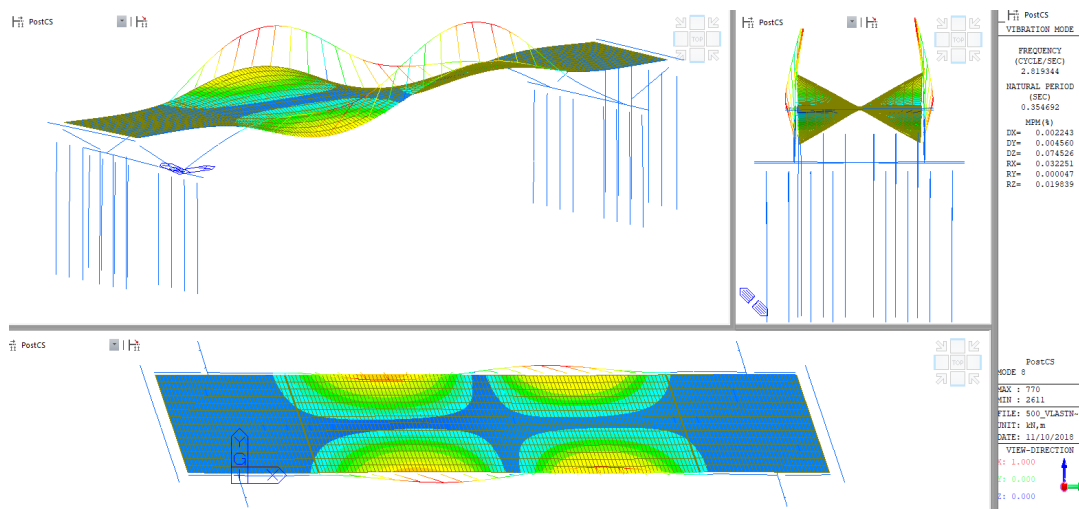


## 7. Vlastný tvar $f = 2.414\text{ Hz}$

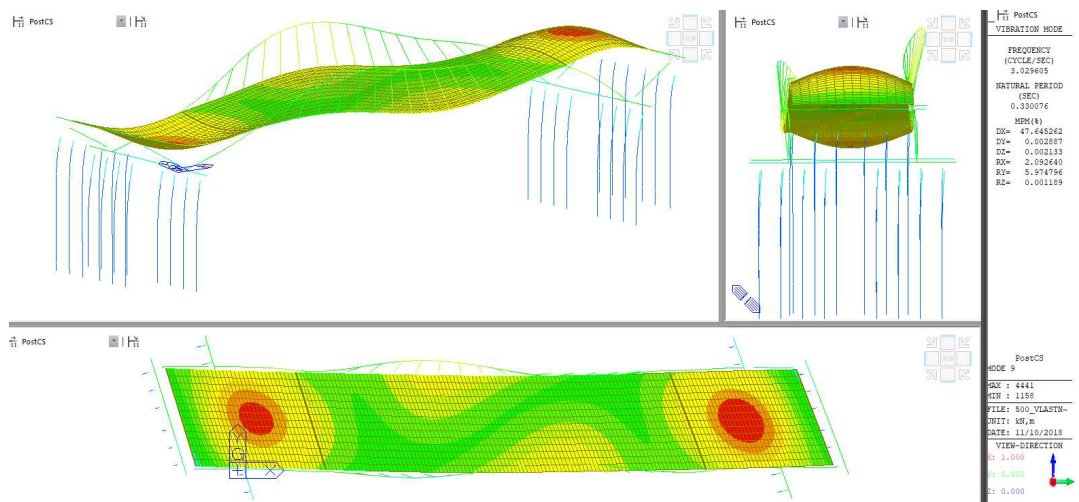




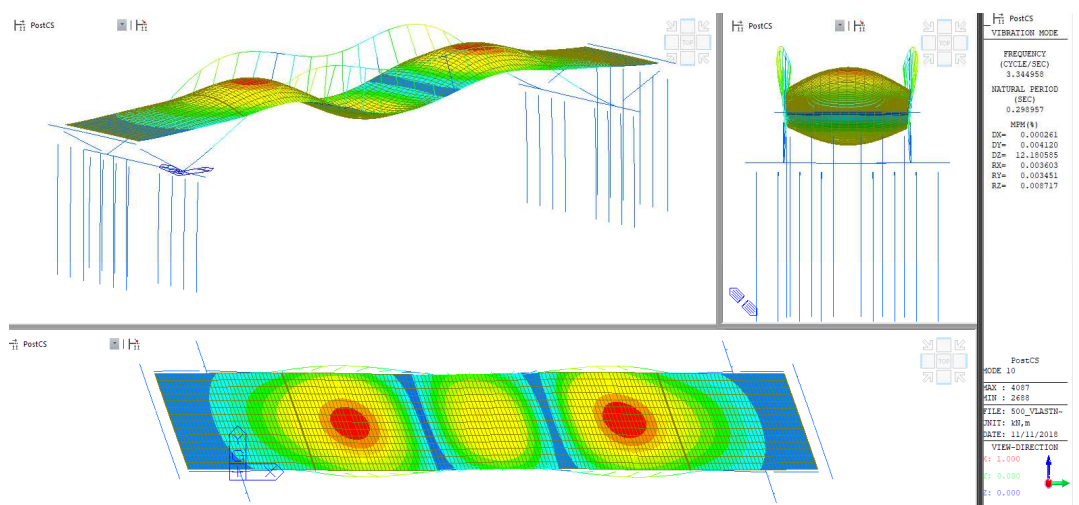
## 8. Vlastný tvar $f = 2.819 \text{ Hz}$



## 9. Vlastný tvar $f = 3,030 \text{ Hz}$



## 10. Vlastný tvar $f = 3,345 \text{ Hz}$

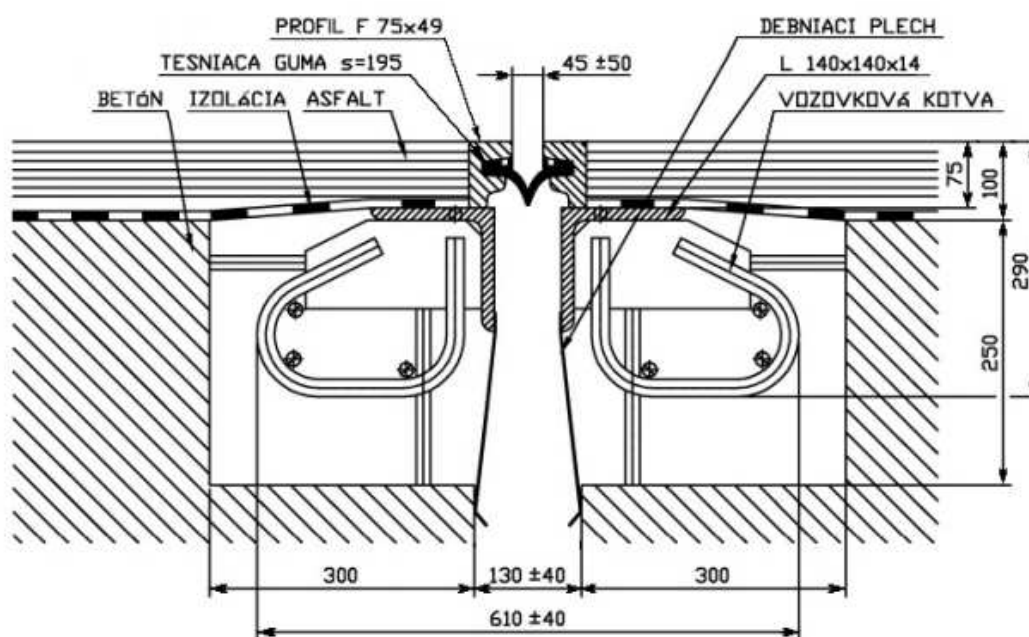




## 8.5 Dilatačné závery

Celkový posun pre návrh záveru bol spočítaný zo súčtu teplôt, ostatného stáleho zaťaženia a účinku dopravy.

Výsledná hodnota posunu je 53,3 mm zaokrúhlene 55 mm. Pre tento posun je navrhnutý mechanický povrchový závez MZ 80J s jednoduchým vyhotovením. Pozdĺžny dilatačný pohyb je 45 +- 50 mm a rozmery kotevnej kapsy sú 300 × 250 mm.



Obr. 8.10 : Dilatačný záver MZ 80 J [25]

## 9 DETAILY A ÚNAVA

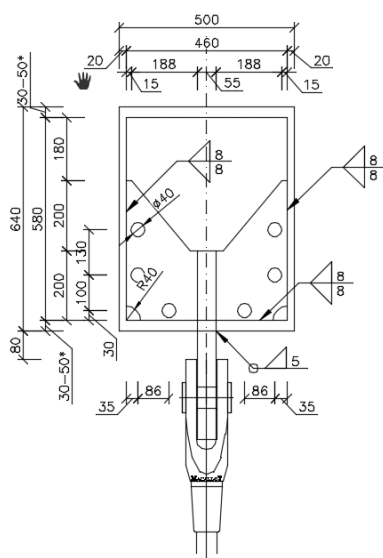
### 9.1 Přípoj závěsu do oblúka

Výrobca ťahadiel Macalloy garantuje pre sortiment svojich výrobkov únosnosti podľa druhu použitého ťahadla (tyče, kotevné vidličky, čapy..)[24]. Minimálne hrúbky kotevných plechov a minimálna osová vzdialenosť od osy čapu po vonkajší povrch kotevného plechu bola určená z katalógu spoločnosti. Pre zvolené ťahadlo M64 bola zvolená hrúbka kotevného plechu 55 mm a osová vzdialenosť od osy čapu po vonkajší povrch kotevného plechu 112 mm. Minimálna šírka kotevného plechu je 180 mm.

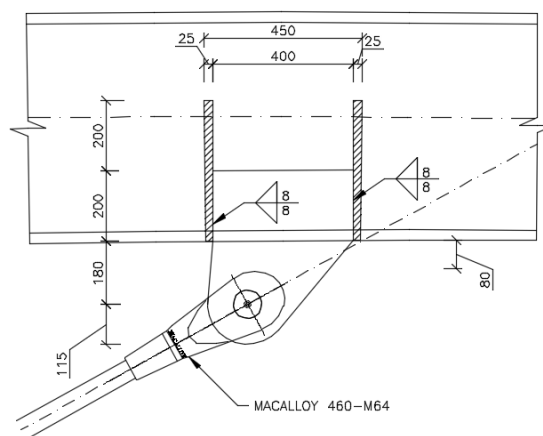
Detail je posúdený zjednodušeným ručným výpočtom na nosníkových modeloch a aj doskostenovým modelom. V oboch posudkoch je zanedbaný vplyv vnútorného betónu. V priereze oblúka sú v miestach prípoja závesov navarené diafragmy P25. K nim je v smere osy oblúku navarený plech P 55 ktorý slúži ako výztuha pre prípoj závesu.

Pri kontrole napätosti v škrupinovom modeli vznikajú v kotevnom plechu lokálne špičky napätí, ktoré nie sú reálne.

**KOTVENIE ZÁVESU DO OBLÚKA**  
**M 1:10**

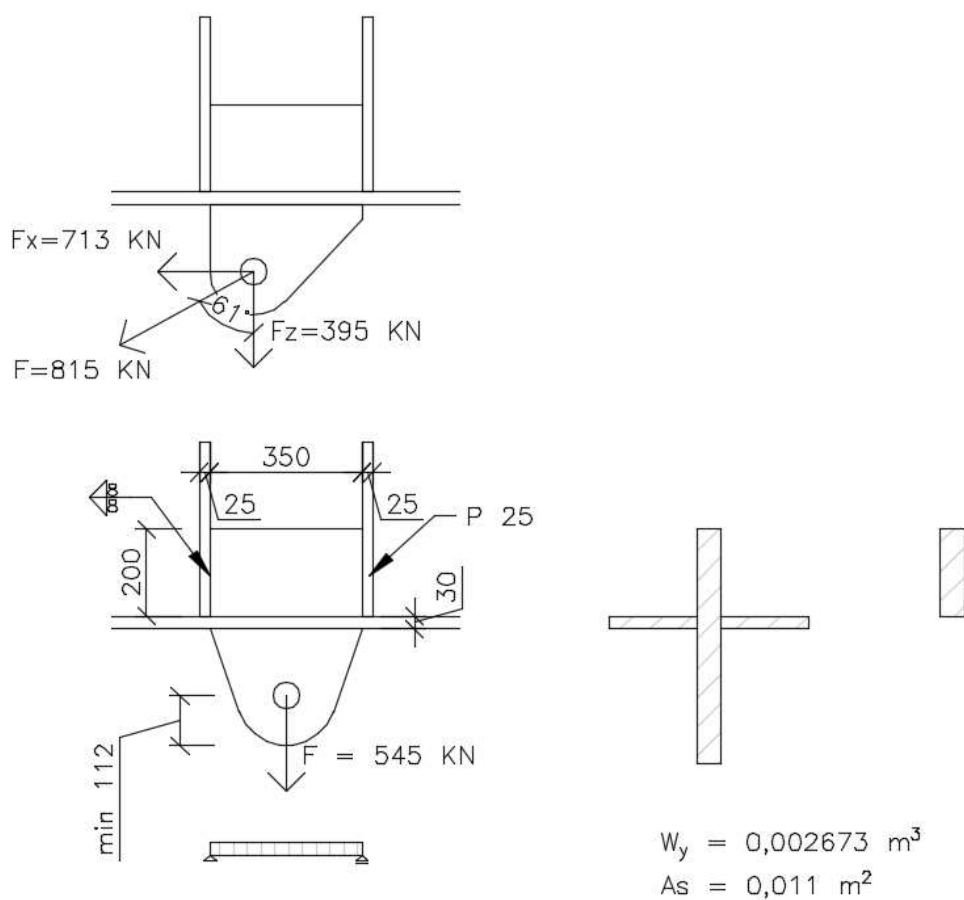


**REZ 1-1**  
**M 1:10**



*Obr. 9.1 : Detail prípoja závesu k oblúku*

### 9.1.1 Ručný výpočet napätia v kotevnom plechu



$$M_{\max} = \frac{1}{8} \times 1560 \times 0,35^2 = 23,89 \text{ kNm}$$

Ohybové napätie v plechu

$$\sigma_1 = \frac{23,89 \times 10^6}{26,73 \times 10^5} = 8,94 \text{ MPa} \leq 335 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Šmykové napätie v plechu

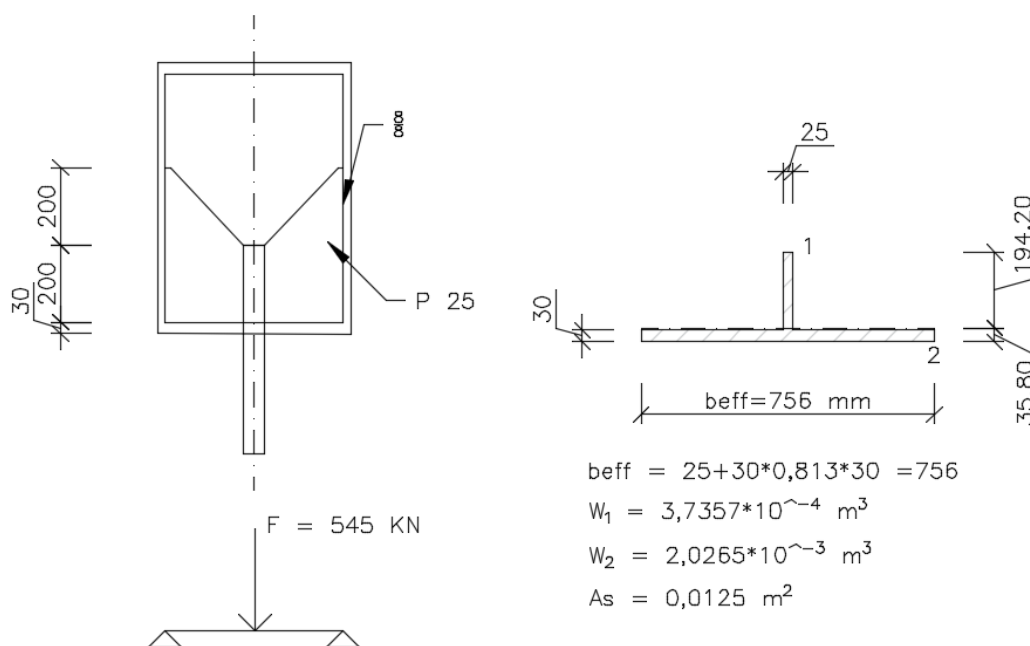
$$\tau = \frac{273 \times 10^3}{0,011 \times 10^6} = 24,82 \text{ MPa} \leq 194 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Rovnobežné napätie v zvare

$$\tau_{II} = \frac{273 \times 10^3}{0,2 \times (0,008 \times 2)} = 63,75 \text{ MPa} \leq 453 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Pre ručný výpočet bola zvolená nepriaznivejšia varianta spoja vo vrchole oblúka.

### 9.1.2 Ručný výpočet napätia vo výztuhách



$$M_{\max} = \frac{1}{4} \times 545 \times 0,46 = 62,68 \text{ kNm}$$

Ohybové napätie vo výztuže

$$\sigma_1 = \frac{62,68 \times 10^6}{3,7357 \times 10^5} = 167,8 \text{ MPa} \leq 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_2 = \frac{62,68 \times 10^6}{2,0265 \times 10^6} = 30,93 \text{ MPa} \leq 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Šmykové napätie vo výztuže

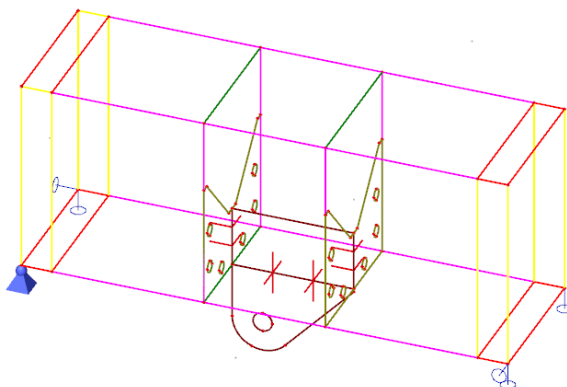
$$\tau = \frac{0,5 \times 545}{0,0125} = 21,8 \text{ MPa} \leq 205 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Rovnobežné napätie v zvare

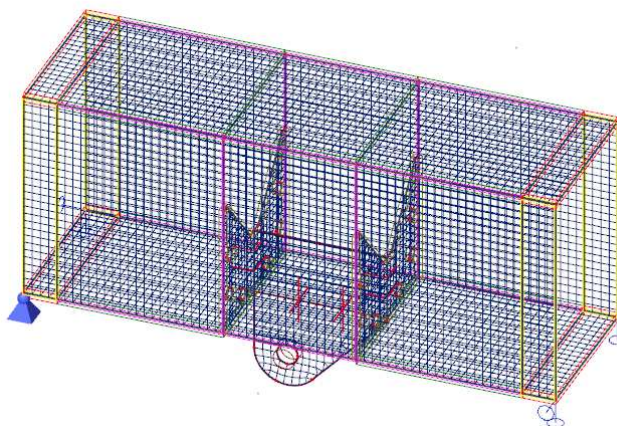
$$\tau_{II} = \frac{0,5 \times 545}{0,4 \times (0,008 \times 2)} = 42,58 \text{ MPa} \leq 453 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### 9.1.3 Dskostenový model (variant 1)

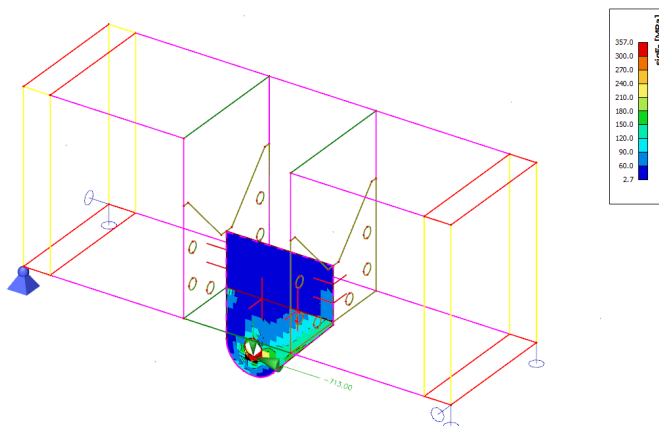
Posúdené 2 varianty. Spoj vo vrchole oblúka a spoj s najväčšou ťahovou silou.



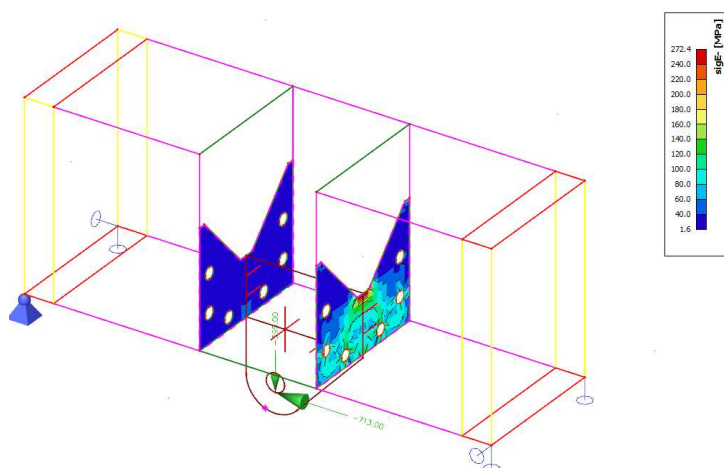
Obr. 9.2 : Dskostenový model spoja



Obr. 9.3 : Sieťovanie spoja

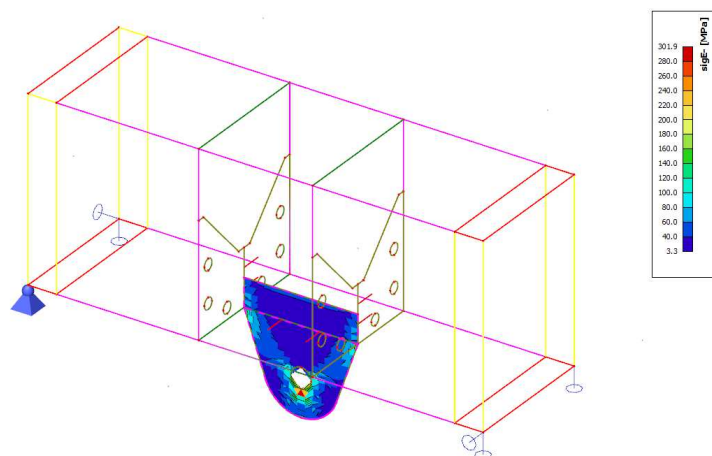


Obr. 9.4 : Napätie v kotevnom plechu (variant 1)

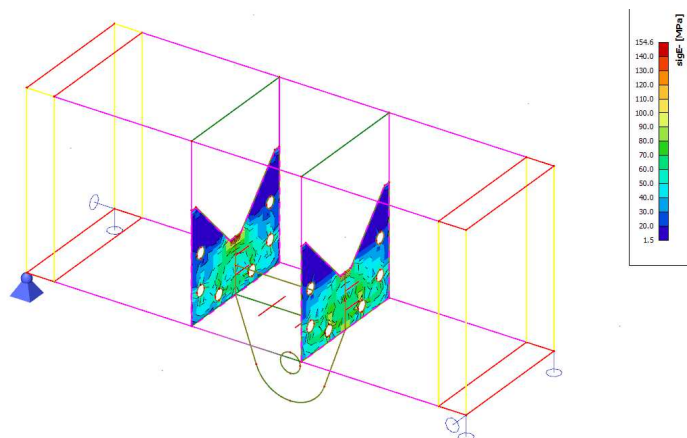


Obr. 9.5 : Napätie vo výztuhách (variant 1)

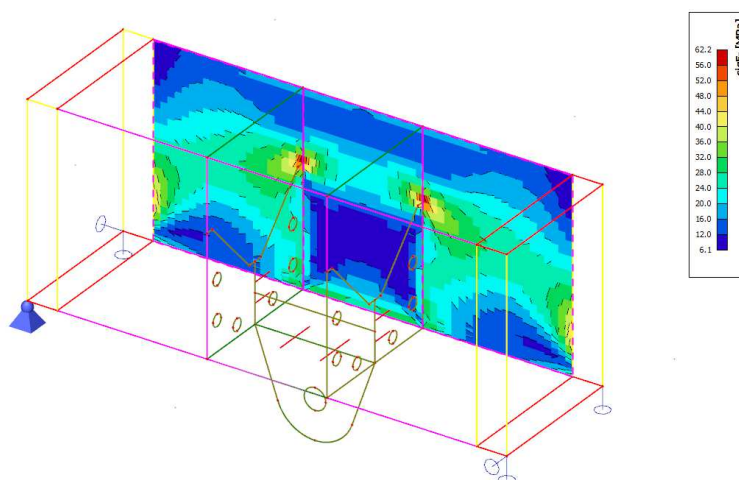
#### 9.1.4 Dskostenový model (variant 2)



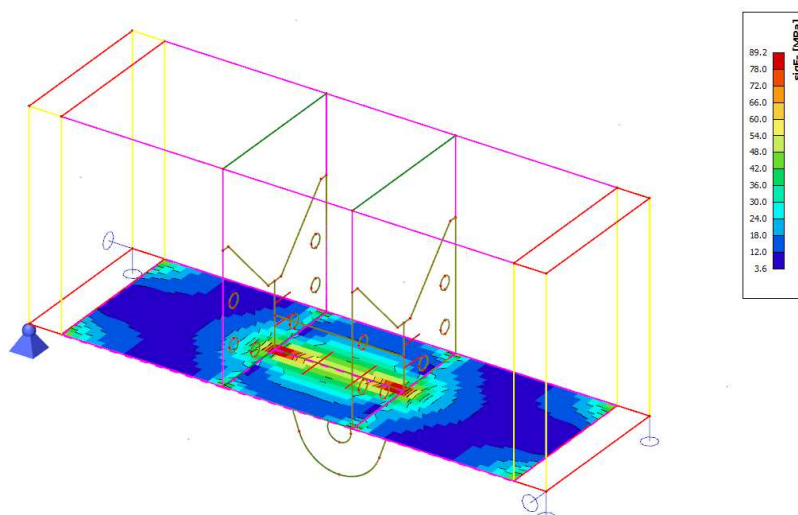
Obr. 9.6 : Napätie v kotevnom plechu (variant 1)



Obr. 9.7 : Napätie vo výztuhách (variant 1)



Obr. 9.8 : Napätie na stojine (informatívne)



Obr. 9.9 : Napätie na pásnici (informatívne)

Napätia na plechoch oblúka sú informatívne. Pre zistenie korektných napätí na oblúku by bolo potrebné škrupinový model zakonponovať do globálneho výpočtového modelu. Pribeh týchto napätí ovplyvňuje spôsob podopretia/namáhania oblúku.

Ako výstup je vykreslené väčšie z napätí  $\sigma_{E+}$  a  $\sigma_{E-}$  čo sú hlavné napätia na hornom a dolnom okraji plochy. Ide o napätie počítané pomocou Huber-Mises-Hencky teórie. Toto napätie je porovnané s medzou klzu konštrukčnej ocele.

- Pre všetky napätie paltí :

$$\text{Ak } \sigma_{E+} \leq f_{yk}/\gamma M_0 = 355/1,0 = 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

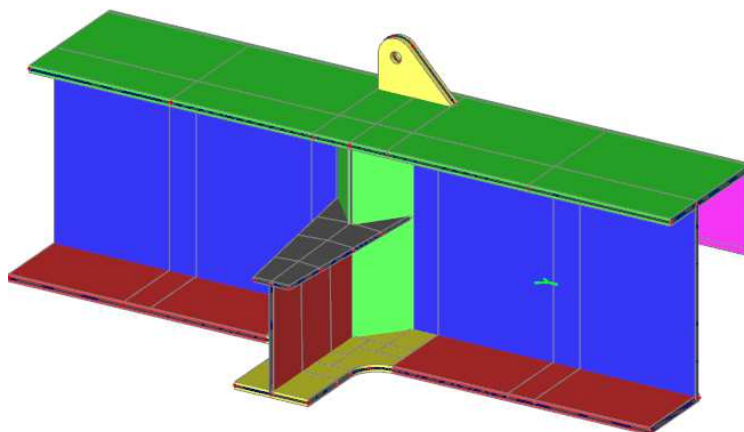
$$\text{Ak } \sigma_{E-} \leq f_{yk}/\gamma M_0 = 355/1,0 = 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



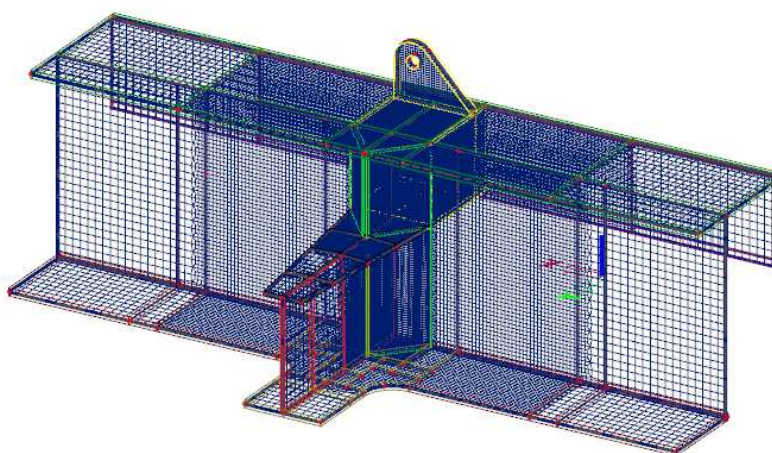




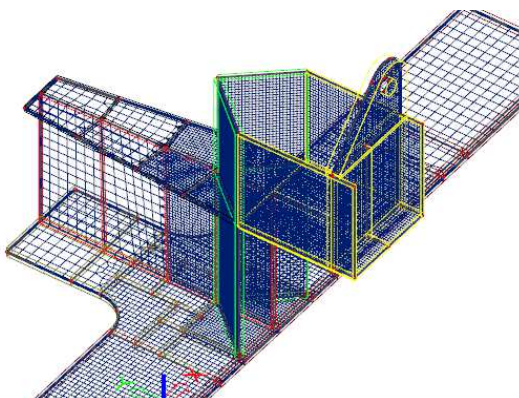
### 9.2.1 Dskostenový model



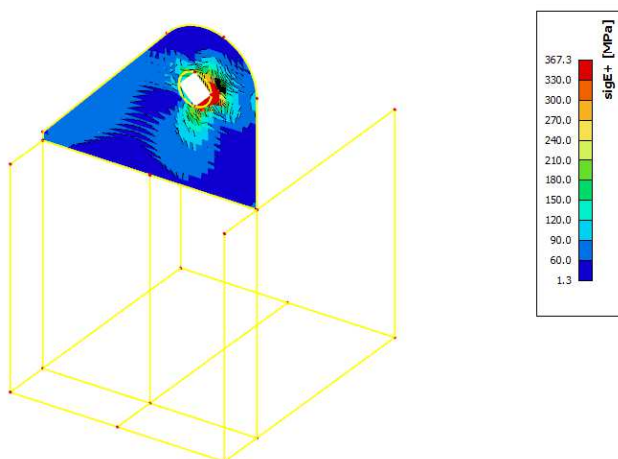
*Obr. 9.11 : Dskostenový model*



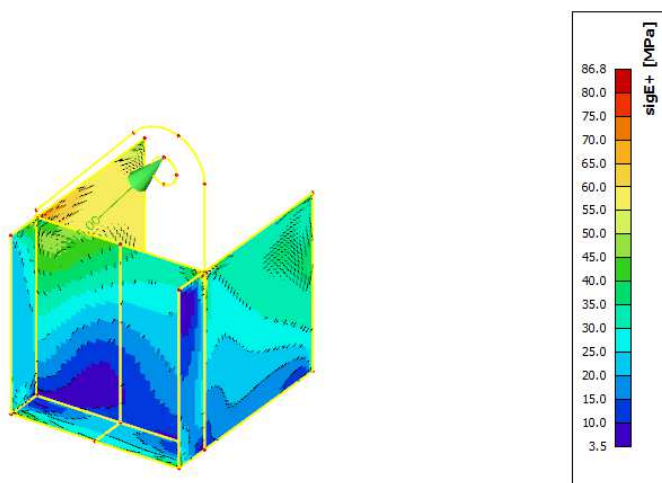
*Obr. 9.12 : Siet'ovanie posudzovaného spoja*



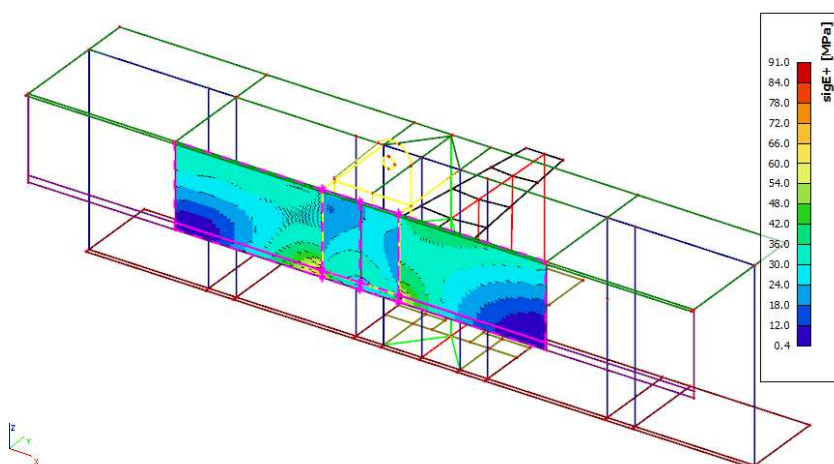
*Obr. 9.13 : Detail výztuh*



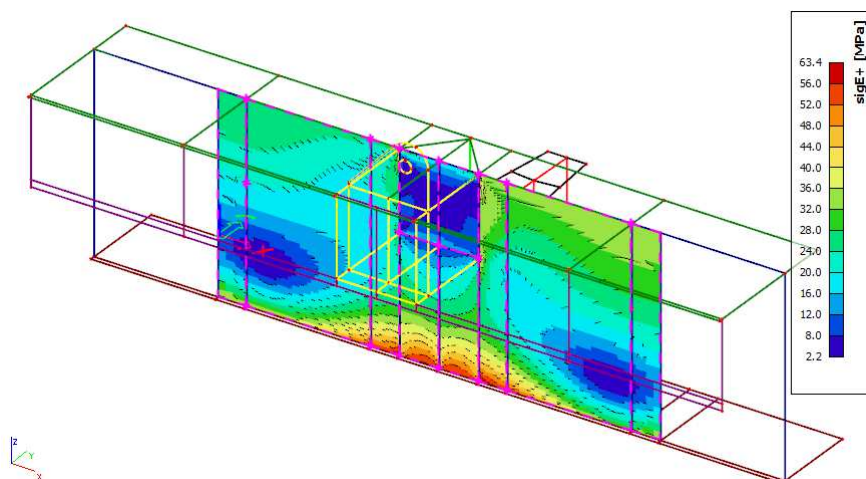
Obr. 9.14 : Napätosť v kotevnom plechu (s lokálnou špičkou napätia)



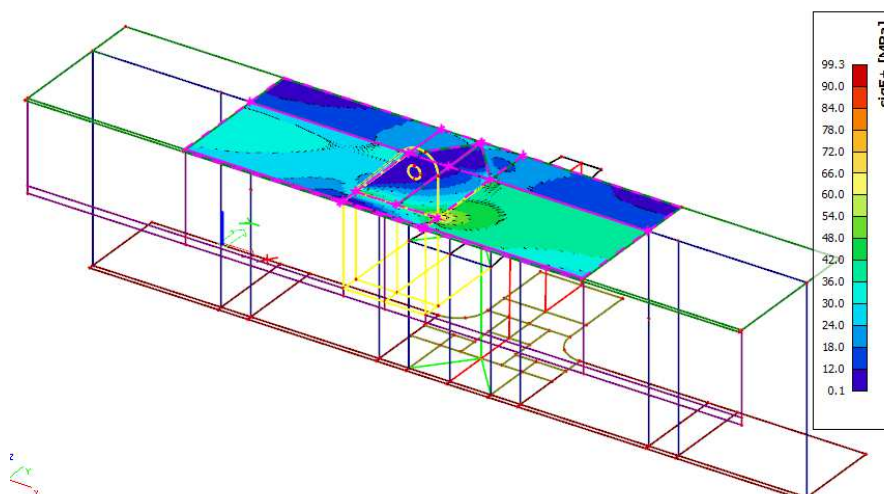
Obr. 9.15 : Napätosť vo výztuhách ťahadla



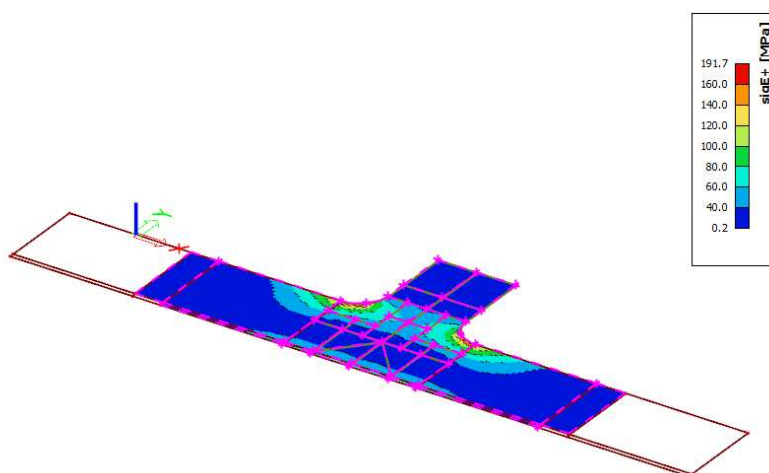
Obr. 9.16 : Napätosť na krycom plechu (informatívne)



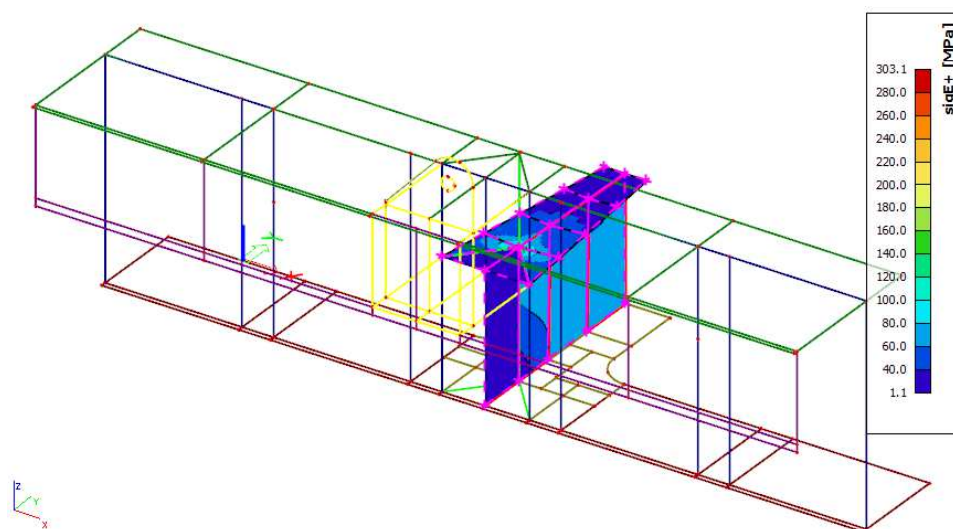
Obr. 9.17 : Napätie v stojine pozdĺžnika (informatívne)



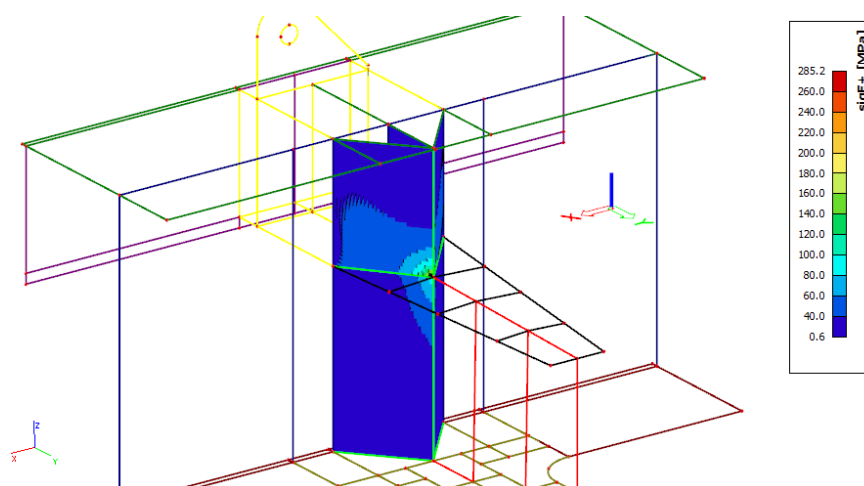
Obr. 9.18 : Napätie na vrchnej pásnici pozdĺžnika (informatívne)



Obr. 9.19 : Napätie v spodnej pásnici (informatívne)



Obr. 9.20 : Napätie v stojine a pásnici priečnika (informatívne)



Obr. 9.21 : Napätia vo výztuže

Napätia na pásniciach a stojinách sú informatívne. Pre zistenie korektných napätí by bolo potrebné škrupinový model zakonponovať do globálneho výpočtového modelu.

Ako výstup je vykreslené väčšie z napätí  $\sigma_{E+}$  a  $\sigma_{E-}$  čo sú hlavné napätia na hornom a dolnom okraji plochy. Ide o napätie počítané pomocu Huber-Mises-Hencky teórie. Toto napätie je porovnané s medzou klzu konštrukčnej ocele.

- Pre všetky napätie paltí :

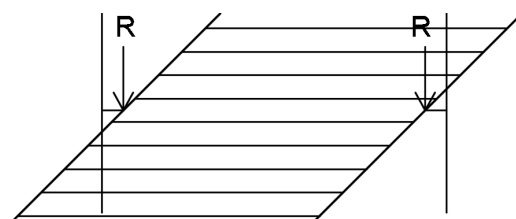
$$\text{Ak } \sigma_{E+} \leq f_{yk}/\gamma M_0 = 355/1,0 = 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\text{Ak } \sigma_{E-} \leq f_{yk}/\gamma M_0 = 355/1,0 = 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$





Detailnejšie overenie spoja v prevádzkovom stave si vyžaduje škrupinový model importovaný do globálneho výpočtového modelu s následnou kontrolou napätosti v jednotlivých plechoch. Geometria a hrúbky výztužných plechov boli navrhnuté konštrukčne.



Reakcie:

$$g_0 : R_{g0} = 1050 \text{ kN}$$

$$g_{1+dopr} : R_{g1+d} = 2750 \text{ kN}$$

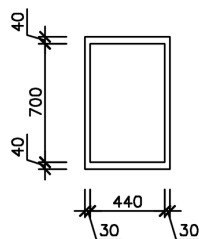
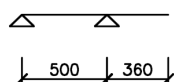


Prierez čapu

$$W_y = 0,004429 \text{ m}^3$$

$$A = 0,04324 \text{ m}^2$$

Model pre výpočet čapu



Prierez oblúka

$$A = 0,082 \text{ m}^2$$

$$A_z = 0,042 \text{ m}^2$$

$$W_x = 0,02657 \text{ m}^3$$

$$W_z = 0,05048 \text{ m}^3$$

### Posúdenie čapu:

$$M_{max} = 1050 \times 0,36 = 378 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{max} = \frac{0,378}{0,004429} = 85,08 \text{ MPa} \leq 335 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\tau = \frac{1050}{0,04324} = 24,28 \text{ MPa} \leq 194 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### Posúdenie oblúka:

$$\sigma_{max} = \frac{0,120}{0,05048} = 2,2 \text{ MPa} \leq 355 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\tau = \frac{0,2}{0,02657} + \frac{0,38}{0,042} = 16,57 \text{ MPa} \leq 204 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Pozn. : Vnútorne sily pôsobiace na oblúk boli určené z globálneho modelu.

## 9.4 Zvary

V rámci veľkého rozsahu práce boli overené iba kútové zvary na pozdĺžnikoch a priečnikoch a zvary vo výztuhách uvedené v 9.1.1 a 9.1.2.

### 9.4.1 Kútové zvary

Kútové zvary po dĺžke nosných prvkov boli posúdené zjednodušenou metódou podľa (4.2) [7]. Šmykové napätie bolo odvodené pomocou analyticky spočítanej pozdĺžnej šmykovej sily pôsobiacej na kútový zvar.

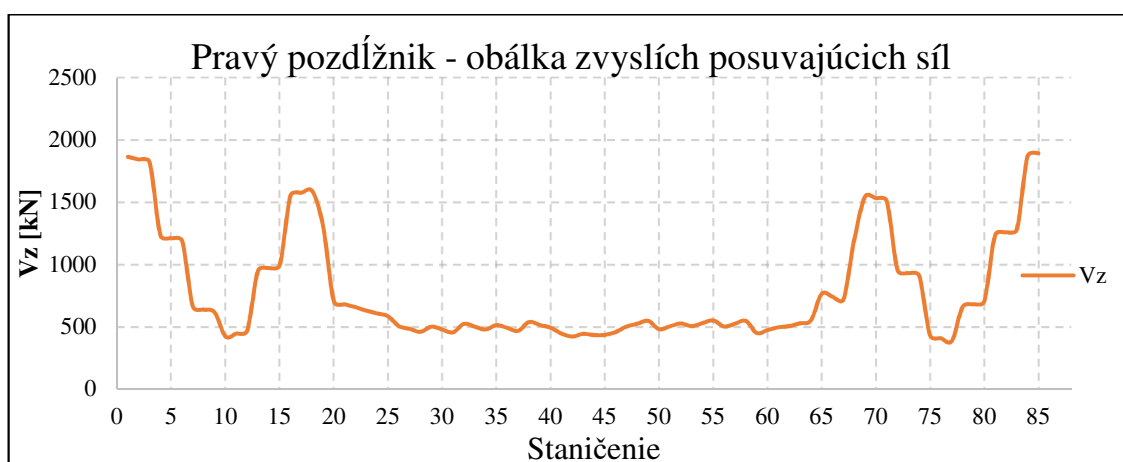
$$\tau_{II} = \frac{V_l}{2 \times a} \quad (9.1)$$

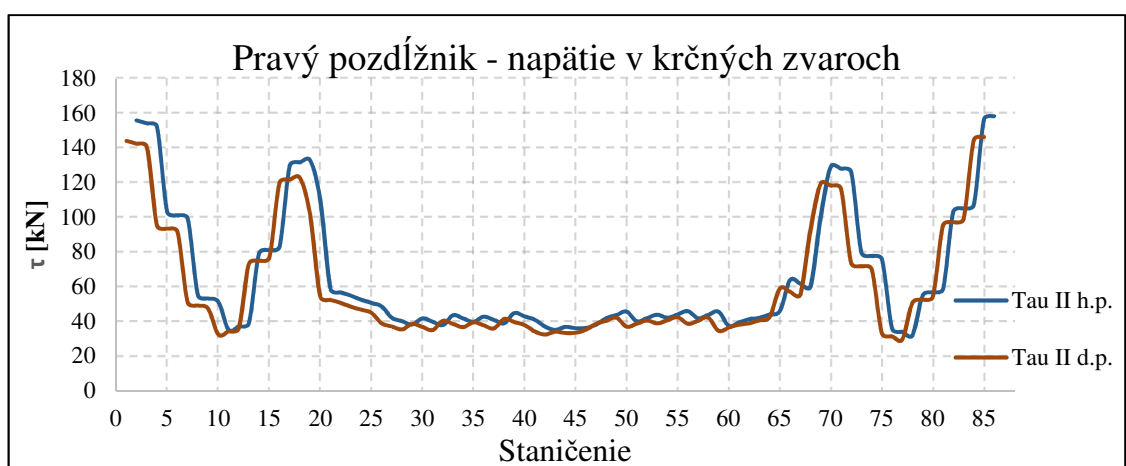
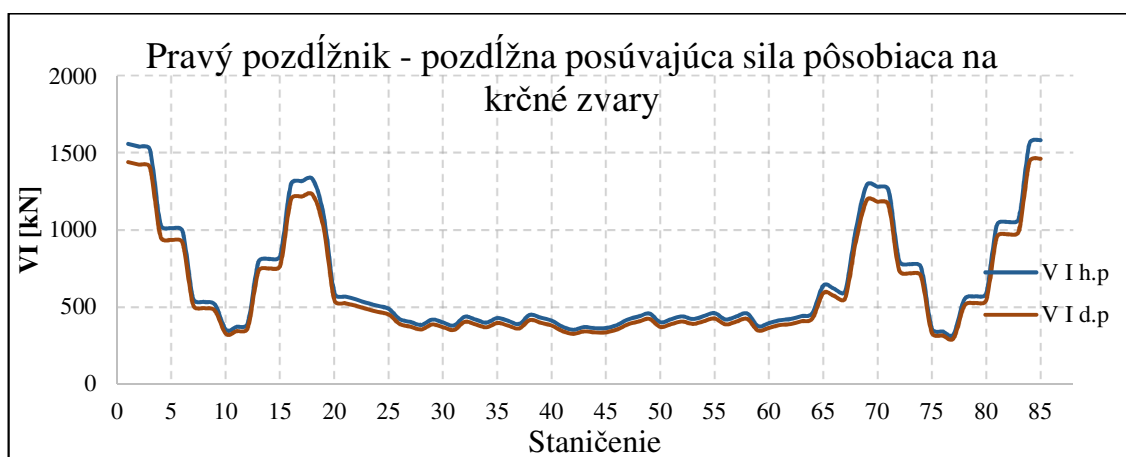
$$V_l = \frac{V_{y,i} \times S_i}{I_i} \quad (9.2)$$

Ostatné kútové zvary v detailoch, ktoré sú súčasťou výkresovej dokumentácie boli navrhnuté konštrukčne pomocou tabuľky :

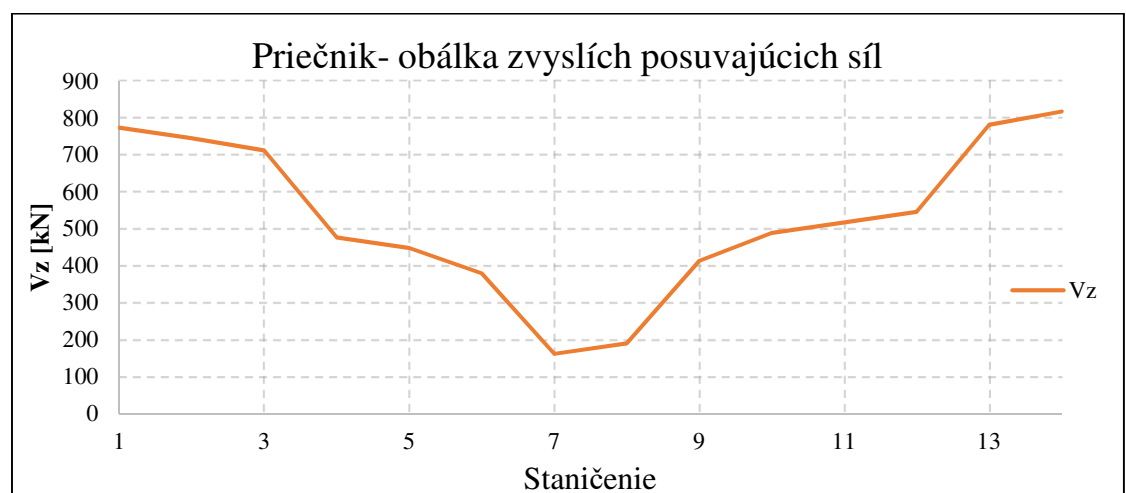
Najväčšia hrúbka spojovaných prvkov $t$ [mm]	Najmenšia účinná výška jednovrstvového kútového zvaru $a$ [mm]
do 10	3
od 11 do 20	4
od 21 do 30	5
31 a viac	6

### 9.4.2 Pozdĺžnik

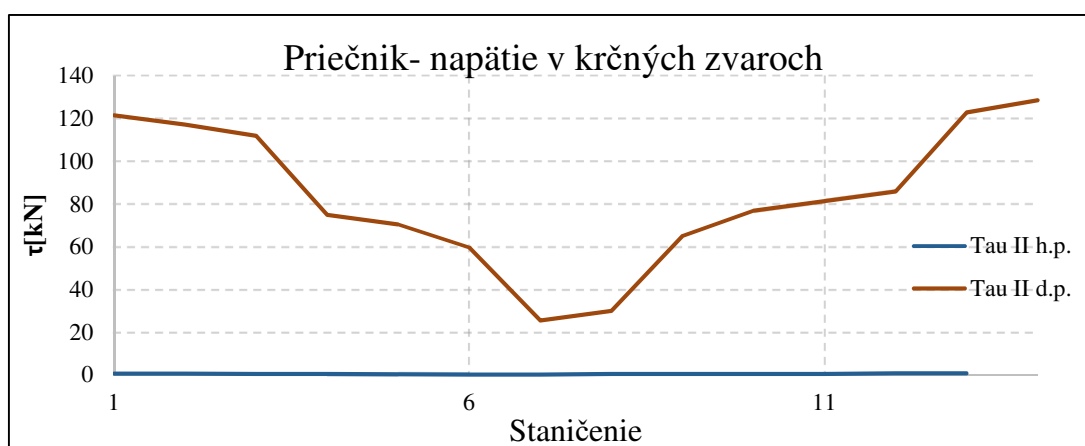
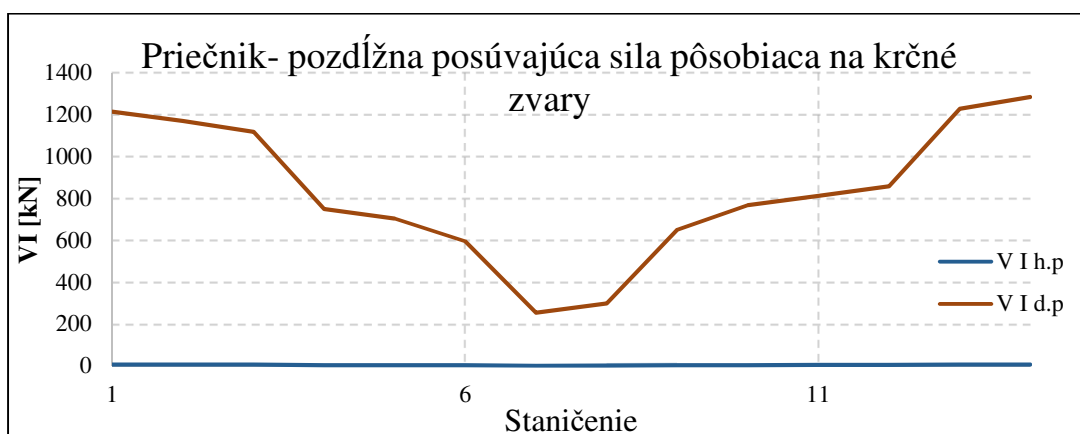




### 9.4.3 Priečník







Návrh zvaru pozdĺžnika:  $a=5\text{mm}$

Návrh zvaru priečnika:  $a=5\text{mm}$

### Posúdenie:

$$\tau_{II} = V_I / (2 \times a) \leq f_u / (\beta_w \times \gamma_{M2} \times 3^{0.5}) = 510 \times (0.9 \times 1.25 \times 1.73) = 262 \text{ MPa} \quad \dots \text{vyhovie}$$

Pozn. : Nízke napätia v hornej pásnici priečnika vykazujú nízke hodnoty pretože neutrálna os spráženého prierezu prechádza hornou pásnicou. Poloha neutrálnej osy sa bude behom životnosti meniť, no aj tak nepredpokladáme veľké napätie. Konštrukčne je zvar na hornej pásnici navrhnutý na  $a=5\text{mm}$ .

### 9.4.4 Tupé zvary

Stykovanie pásnic, stojín a všetkých konštrukčných častí po jednotlivých prvkoch bude prevedené pomocou tupých zvarov. Tie sa považujú za súčasť prierezu, teda tieto zvary spĺňajú požiadavku únosnosti.

## 9.5 Únavové namáhání v spojoch [13]

Posúdenie na únavu cestných mostov sa má previesť pre všetky časti mosta pokiaľ norma neprikazuje inak. Únavu obecné spôsobujú najmä pohyblivé zaťaženia, opakované namáhania ale napríklad aj prvky kmitajúce od účinku vetra.

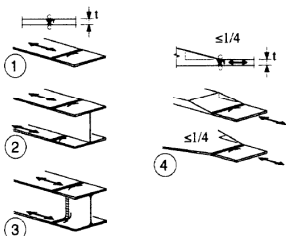
Najväčší vplyv na únavové porušenie majú vlastné pnutia, história zaťaženia a usporiadanie detailov. Cieľom je zabránenie vzniku opakovanej plastickej deformácie. Preto je z hľadiska projektantov snaha ovplyvniť možné faktory únavy napríklad správnym návrhom detailov. Tým sa zabraňuje vzniku tzv. „vrubov“ ktoré iniciujú vznik únavových trhlin.

Medzi vruby patria napríklad náhle zmeny geometrie, defekty v materiáloch alebo vlastné pnutia. Príklad správneho riešenia vrubov môžeme nájsť aj v tejto práci. Ide napríklad o návrh zaoblenia v mieste zárodku spodnej pásnice priečnika alebo o kruhové výrezy v stojinách alebo výztuhách, ktoré zabraňujú vzniku pnutia od kríženia zvarov.

Pre posúdenie na únavu sa používajú dve metódy. Bezpečnejšia je metóda bezpečnej životnosti, ktorá zaisťuje spoľahlivosť počas celej životnosti konštrukcie.

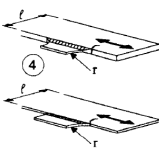


Konštrukcie sa posudzujú podľa rozkmitu napätia. Používajú sa buď menovité alebo tvarové napätia. Únavové triedy pre jednotlivé konštrukčné detaily sú uvedené v tabuľkách normy [8]. V rámci rozsahu práce niesú posúdené prvky na únavu. Je uvedený iba všeobecný postup výpočtu. Pre tento postup bol vybraný detail pripojenia priečnika k pozdĺžniku.

Spoj bol rozdelený do viacerých častí a každej časti bol priradený únavový konštrukčný detail. Ako prvý bol vybraný tupý zvar na zárodke spodnej pásnice.

Kategória detailu	Konstrukční detail	Popis	Požadavky
112		<p><u>Bez podložky:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Příčné styky plechů a pásů.</li> <li>2) Styky pásů a stojin nosníků, svařených z plechu před sestavením nosníku.</li> <li>3) Tupé svary ve styku celého řezu válcovaného průřezu bez výřezů ve svarech.</li> <li>4) Příčné styky plechů a pásů proměnné šířky nebo tloušťky se sklonem <math>\leq 1/4</math>.</li> </ol>	<p>Všechny svary zabrousit do roviny plechu rovnoběžně se směrem šípky.</p> <p>Je potřebné použít a odborně odstranit příločky pro začátek a výběh svaru, hrany plechu se obrousí ve směru namáhání.</p> <p>Svařovat z obou stran, kontrola NDT.</p> <p><u>Detail 3):</u> Použít pouze pro stykování rozřezaných a opět svařených válcovaných průřezů.</p>

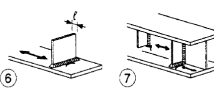
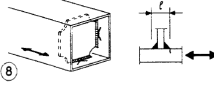
Obr. 9.23 : Tupý zvar-spodná pásnica priečnika privarená k zárodku na pozdĺžniku[8]

Ďalšou časťou je samotný zárodok spodnej pásnice.

90	$\frac{r}{L} \geq \frac{1}{3}$ nebo $r > 150\text{mm}$		4) Stýčkový plech, přivařený k hraně plechu nebo k pásnici nosníku.	rovnoběžně se směrem šípky, tak aby úpatí příčného svaru bylo plně odstraněno.
71	$\frac{1}{6} \leq \frac{r}{L} \leq \frac{1}{3}$			
50	$\frac{r}{L} < \frac{1}{6}$		L: délka připoje jako v detailu 1,2 nebo 3	

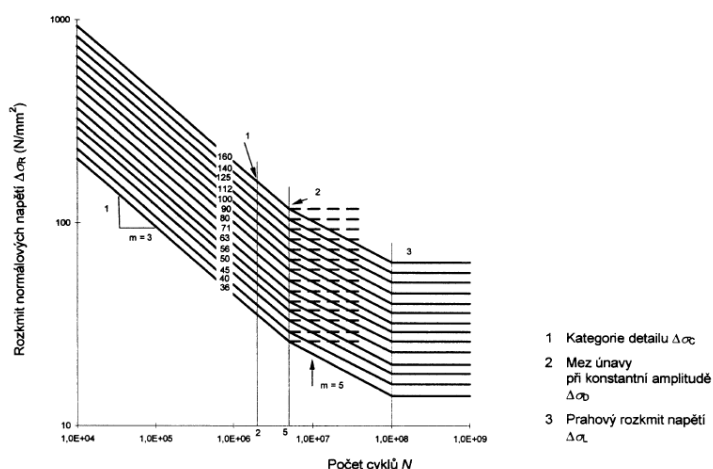
Obr. 9.24 : Zárodok spodnej pásnice priečnika privarený k spodnej pásnici pozdĺžnika[8]

Poslednou časťou detailu je pripojenie výztuh k stojinám prvkov a pripojenie samotných stojín priečnika a pozdĺžnika.

80	$t \leq 50\text{mm}$		<b>Příčné připojení prvky:</b> 6) Prvky přivařené k plechu. 7) Svislé výztuhy přivařené k válcovnému nebo svařovanému nosníku. 8) Diafragma komorových nosníků přivařené k pásům nebo ke stojině. Nelze použít pro malé duté průřezy. Hodnoty platí také pro kruhové výztuhy.	<b>Detaily 6) a 7):</b> Konce svarů se pečlivě zabrousí pro odstranění všech možných vrubů. 7) $\Delta\sigma$ se vypočte s použitím hlavních napětí, je-li výztuha ukončena na stojině, viz příklad vlevo.
71	$50 < t \leq 80\text{mm}$			

Obr. 9.25 : Výztuhy privarené k stojinám pozdĺžnika a priečnika, prípoj stojiny priečnika na pozdĺžnik [8]

Pre návrh je použitá najmenšia z menovitých napätí teda  $\Delta\sigma_c = 71\text{ MPa}$ . Pre určenie únavovej pevnosti sa vychádza v prípade metódy bezpečnej životnosti z Wohlerovej krivky. Tá definuje závislosť rozkmitu napätia na počte kmitov vyvolávajúcich lom.



Obr. 9.26 : Wohlerova krivka [8]

Ďalej je potrebné určiť hodnotu referenčného rozkmitu napätia, ktorá vzniká od spektier rozkmitu napätia. Referenčný rozkmit je reprezentovaný zaťažovacími modelmi pre únavu v [8]. Zaťažovací model sa aplikuje do globálneho výpočtového modelu a výstupom sú napätia v posudzovanom mieste. Následne je určený rozkmit  $\Delta\sigma$ .

Ďalším krokom je určenie spektra zaťaženi. Je to počet cyklov ktorému bude konštrukcia vystavená. To sa dá zistiť zo štatistických údajov.

Celkové posúdenie na únavu vo všeobecnosti kontroluje rozkmit napätia od prevádzkového zaťaženia. Podmienka overenia sa môže napísať v tvare:

$$\frac{\gamma_{Ff} \times \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \leq 1 \quad (9.3)$$

$$\frac{\gamma_{Ff} \times \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_C / \gamma_{Mf}} \leq 1 \quad (9.4)$$

Presný postup výpočtu so všetkými náležiacimi súčiniteľmi vstupujúcimi do výpočtu je uvedený v [8].

## 9.6 Kvalita materiálu

Kvalita materiálu bola posúdená na lomovú húževnatosť a lamelárnu praskavosť.

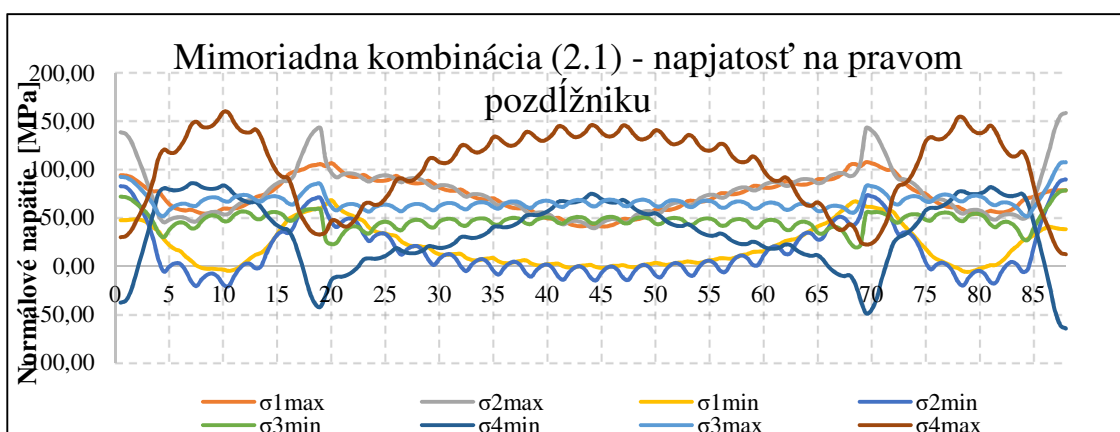
### 9.6.1 Lomová húževnatosť [13]

Materiál ťahaných prvkov musí byť posúdený na lomovú húževnatosť pri najnižšej teplote aby sa zabránilo vzniku krehkého lomu. Toto posúdenie bolo vyhotovené podľa ČSN EN 1993-1-10 [9].

Hlavná nosná konštrukcia bude vyrobená z ocele triedy S 355. Plechy hrúbky  $\leq 35$  mm budú z triedy ocele S 355J2 a plechy hrúbky  $>35 \leq 50$  mm budú z triedy S 355 K2.

Priebeh napätia na pozdĺžniku bol určený podľa vzorca (2.1) uvedenej normy.

$$E_d = E \times [A(T_{Ed}) \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_1 \times Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \times Q_{k,i}] \quad (9.5)$$



Referenčná teplota  $T_{Ed}$ :

Najnižšia návrhová teplota vzduchu  $T_{md} = -35\text{ °C}$

Vplyv radiácie  $\Delta T_r = -5\text{ °C}$

Korekcia napätia a medze klzu  $\Delta T_\sigma = 0\text{ °C}$

Požiadavok bezpečnosti  $\Delta T_R = 0\text{ °C}$

Korekcia pre rýchlosť rastu  $\Delta T_\varepsilon = 0\text{ °C}$

Korekcia pre stupeň trarovania  $\Delta T_{\varepsilon cf} = 0\text{ °C}$

Celkom  $T_{Ed} = -40\text{ °C}$

Menovitá medza klzu pre hrúbky:

$t = 35\text{ mm}$   $f_y(t) = 355 - 0,25 \times 35 / 1 = \mathbf{346\text{ MPa}}$

$t = 50\text{ mm}$   $f_y(t) = 335 - 0,25 \times 50 / 1 = \mathbf{322\text{ MPa}}$

Maximálna hodnota napätia  $\sigma = 160\text{ Mpa}$

Podiel menovitej medze klzu:

$t = 35\text{ mm}$   $160 / 346 = 0,46 f_y(t)$

$t = 50\text{ mm}$   $160 / 322 = 0,50 f_y(t)$

Po porovnaní s tabuľkou 2.1 normy [9] :

J2:  $35 < 55$  ...vyhovuje

K2:  $50 < 65$  ...vyhovuje



## 10 MOSTOVKOVÁ DOSKA

Mostovková doska je navrhnutá ako betónová doska z betónu C30/37 – XF2+XD1. Dolný povrch dosky kopíruje geometriu priečnikov a horný povrch dodržiava obojstranný spád vozovky 2.5 %. Na ľavom aj pravom okraji dosky je pod rímou spravený protispád s veľkosťou 4%. Hrúbka je konštantná 200 mm.

V doske budú zabetónované PVC trubky pre odvodnenie izolácie, ďalej sú v doske umiestnené odvodňovače 500/300 mm a kotvy pre rímsy. Odvodnenie mosta podľa hydrotechnického výpočtu.

Výzťaž bet. dosky je navrhnutá B 500B. pre veľký rozsah práce nie je posúdenie dosky súčasťou tejto práce. Pre výrazné ťahové namáhanie dosky sa odporúča použitie skrutkových spojok pre stykovanie výzťaže dosky. Alternatívne veľké preloženie výzťaže.



Obr. 10.1 : Stykovacie spojky LENTON [25]

Pre obmedzenie vzniku trhlin je potrebné zabezpečiť ošetrovanie betónu, ktoré spočíva v kropení alebo zakrytí dosky mokrou geotextíliou a vodotesnou fóliou. Geotextília by sa mala udržiavať vo vlhkom stave po dobu aspoň 5 dní.

---

## 11 ZÁVER

Táto diplomová práca je zameraná na uplatnenie poznatkov statiky pri návrhu a výpočte odolnosti mostných konštrukcií. Konkrétne sa práca zameriava na statické posúdenie NK oblúkového mostu s medziľahlou mostovkou.

V teoretickom rozbere práca uvádza základné typy mostov a neskôr sa zameriava na konkrétne nosné systémy oblúkových mostov. Teoreticky je rozobrané aj zaťažovanie mostných konštrukcií, ktoré rešpektuje európske normy. Poslednou časťou teoretického rozboru sú metódy globálnej analýzy, ktoré sú individuálne pre každú konštrukciu.

V ďalšej kapitole autor opisuje vybraný stavebný objekt, jeho špecifikácie a zaujímavosti. Patrí tu aj výber a charakteristika výpočtových modelov a analýz ktoré boli vybrané pre konkrétny projekt.

V 4. kapitole je demonštrovaná dôležitosť jednoduchých rovinných modelov. Tie majú opodstatnenie pre kontrolu zložitých MKP modelov v ktorých sa je ťažšie vyznať, ale aj pre počiatočný návrh prvkov a určenie statického pôsobenia zložitej konštrukcie. V tejto kapitole boli podľa platných noriem navrhnuté prierezy, ktoré boli neskôr použité pri tvorbe zložitejšieho MKP modelu. Na záver boli rozdiely v modeloch porovnané a tým bola overená celková správnosť vypočítanej odozvy.

Súčasťou práce je aj dosko-prúťový výpočtový model vytvorený v SW Midas Civil. Tento model zahŕňa všetky stavy výstavby a aj všetky reologické zmeny počas celej životnosti konštrukcie. Dôležitou súčasťou modelu je vytvorenie nelineárnych pružných podpôr, ktoré majú obrovský význam pre určenie odozvy integrovanej konštrukcie, najmä pri zohľadnení teplotnej rozťažnosti. Významná je aj tvorba ortotropnej mostovky, či využitie vplyvových čiar, resp. analýzy pohyblivých zaťažení, ktorú software ponúka.

Po vytvorení globálneho modelu bola spracovaná stabilitná analýza, ktorej výsledkom bolo zistenie, že štíhle oblúky sú veľmi citlivé na stabilitné vybočenie. V oblúkoch bude počas celej životnosti veľká tlaková sila. Táto stabilitná analýza bola priamo použitá pre posudky oblúkov v MSÚ, resp. pre určenie vzperných dĺžok oblúkov  $L_{cr}$ .

Po nelineárnom výpočte boli určené vnútorné sily a bol vyhotovený statický posudok na MSÚ všetkých nosných častí mosta podľa európskych noriem. Z hľadiska MSP bola posúdená



napätosť pri prevádzke mosta podľa charakteristickej kombinácie ale aj napätosť prvkov počas výstavby mosta. Ďalej boli určené medzné deformácie mosta, boli navrhnuté dilatačné závery a bola spracovaná modálna analýza konštrukcie.

Predposledná kapitola sa zaoberá návrhom detailov pre ktorý boli použité zjednodušené ručné modely a aj škupinové MKP modely. Výsledkom je návrh samotných plechov ale aj zvarov. Je tu zahrnutý aj teoretický postup posudku spojov na únavové namáhanie.

Nakoľko témou diplomovej práce je iba návrh ocelevej nosnej konštrukcie a hlavne samotný návrh ocelevej NK je pomerne obsiahly, v poslednej kapitole sú uvedené iba základné informácie o ŽB doske bez statického posúdenia.

Súčasťou príloh sú všetky dôležité informácie dotýkajúce sa projektu a zároveň aj časť výkresovej dokumentácie.

Účelom práce bolo prehĺbenie znalostí týkajúcich sa návrhu a výpočtu mostných konštrukcií. Táto práca diplomantovi tieto znalosti prehĺbila a zároveň mu dala obraz o komplexnosti a zložitosti celého návrhu.



### **PodĎakovanie**

Touto cestou by som sa chcel poĎakovať Ing. Miroslavovi Rosmanitovi, Ph.D. za odborné rady, skvelý prístup a konzultácie, ktoré mi pomohli pri tvorbe tejto práce.

Zároveň Ďakujem rodine a priateľom za podporu počas celého štúdia ale aj celému akademickému zboru fakulty stavebnej VŠB ako aj trpezlivému čitateľovi, ktorý sa dostal až k tomuto poĎakovaniu.

---

## ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 2.1: Statická schéma pravého oblúka[13] .....	16
Obr. 2.2: Statická schéma nepravého oblúka[14].....	16
Obr. 2.3: Statická schéma votknutého oblúka [13] .....	17
Obr. 2.4: Statická schéma oblúka s jedným kĺbom[13] .....	17
Obr. 2.5: Statická schéma dvojkĺbového oblúka [13] a) bez ťahadla; b) s ťahadlom; c) s vyloženými konzolami.....	17
Obr. 2.6: Statická schéma trojkĺbového oblúka [13] a) bez ťahadla; b) s ťahadlom; c) s vyloženými konzolami .....	18
Obr. 2.7: Tuhý oblúk s hornou mostovkou [13].....	18
Obr. 2.8: Tuhý oblúk s ťahadlom [13] .....	19
Obr. 2.9: Oblúk s vystuženým tuhým trámom [13].....	19
Obr. 2.10: Tuhý trám vystužený oblúkom (Langerov trám) [13] .....	19
Obr. 2.11: Tuhý trám s tuhým oblúkom a netuhými zvislicami [13] .....	20
Obr. 2.12: Tuhý oblúk s tuhým trámom a tuhými zvislicami[13].....	20
Obr. 2.13: Pomer tuhosti oblúkovej konštrukcie[14] .....	20
Obr. 2.14: oblúky podľa polohy mostovky[ 14].....	21
Obr. 2.15: Oblúk s rovnobežnými pásmi [13].....	21
Obr. 2.16: Oblúk kosákovitého tvaru [13] .....	22
Obr. 2.17: Oblúk so zvyšujúcou sa výškou smerom k pätkám [13].....	22
Obr. 2.18: Priehradový oblúk s lomeným horným pásom [13].....	22
Obr. 2.19: Oblúk s vystuženými cípmi [13].....	23
Obr. 2.20: Dvojkĺbový priehradový rám [13] .....	23
Obr. 2.21: Vzopätie dvojkĺbového oblúku [13]] .....	23
Obr. 2.22: Tuhý trám vystužený voľným oblúkom [13] .....	24

---

Obr. 2.23: Tuhý trám vystužený voľným oblúkom s diagonálami [13].....	24
Obr. 2.24: Typy oblúkových konštrukcí: a) oblúk s hornou mostovkou, b) samokotvený oblúk s hornou mostovkou, c) oblúk s dolnou mostovkou, d) samokotvený oblúk s dolnou mostovkou [14].....	25
Obr. 2.25: Plnostenný oblúkový most v Žďákove [14].....	25
Obr. 2.26: Priečne rezy oblúkových mostov [14].....	26
Obr. 2.27: Tvary ťahadiel [14] .....	26
Obr. 2.28: Stúženie oblúkových mostov s hornou mostovkou [14].....	27
Obr. 2.29: Stúženie oblúkových mostov s hornou mostovkou [13] a) bez stúženia; b) rámové stúženie; c) priehradové stúženie; d) opreté oblúky + rámová priečka.....	27
Obr. 2.30: Vizualne pôsobenie stúženia : a) oblúky bez stúženia; b) rámové stúženie uprostred; c) rámové stúženie pri každom druhom závese; d) obmena stúženia z prípadu c) doplnená o zosilnenie portálu šikmými diagonálami; e) rámové stúženie pri každom závese; f) priehradové stúženie-polpriečková sústava; g) priehradové stúženie-rombická sústava; h) priehradové stúženie-násobná sústava [13].....	28
Obr. 2.31: Vetrové portály Langerových trámov [13] .....	29
Obr. 2.32: Most Chaotianmen cez rieku Yangtze [25].....	29
Obr. 2.33: Most Lupu v Shanghaji [25] .....	30
Obr. 2.34: Most ponad rieku George [25] .....	30
Obr. 2.35: Most v prístave Sydney [25] .....	31
Obr. 2.36: Žďákovský most [25].....	31
Obr. 2.37: Most Apollo v Bratislave [25] .....	32
Obr. 2.38: Zaťažovací model LM1 [13].....	35
Obr. 2.39: Zaťažovací model LM2 [4].....	36
Obr. 2.40: Usporiadanie náprav a stanovenie kontaktnej plochy [4] .....	38
Obr. 2.41: Smery zaťaženia vetrom na mostoch [3] .....	41

---

---

Obr. 2.42: Nerovnomerná zmena teploty, a) všeobecný priebeh, b) priečny rez, c) zjednodušený diagram [22] .....	42
Obr. 2.43: Základné vzťahy pre plnostenný oblúk; 0) vplyvová čiara ohybových momentov v ťažisku; 1,2) Vplyvová čiara jadrových ohybových momentov k dolnému resp. hornému vláknu [13] .....	46
Obr. 2.44: Hyperbolický priebeh napätia na zakrivenom prúte [13].....	47
Obr. 2.45: Namáhanie pásnic prierezu oblúka priečnym ohybom [13] .....	48
Obr. 2.46: Výpočet votknutého oblúka [13].....	48
Obr. 3.1: Oblúkový most na rýchlostnej ceste R1 [23] .....	50
Obr. 3.2: Schematický priečny rez konštrukcie.....	54
Obr. 3.3: Schematický pozdĺžny rez konštrukcie .....	55
Obr. 3.4: Schematický pôdorys konštrukcie .....	56
Obr. 4.1: Statická schéma modelu .....	57
Obr. 4.2: Zaťaženia pôsobiace na priečnik.....	58
Obr. 4.3: Návrhová hodnota posúvajúcej sily pôsoiacej na priečnik .....	59
Obr. 4.4: Návrhová hodnota ohybového momentu pôsoiaceho na priečnik .....	59
Obr. 4.5: Pohľad na rovinný model .....	62
Obr. 4.6: Poloha dopravy - max $M_y$ .....	62
Obr. 4.7: Poloha dopravy - min $M_y$ .....	63
Obr. 5.1: Pohľad na most.....	70
Obr. 5.2: Pohľad na ocel'ovú konštrukciu .....	70
Obr. 5.3: Axonometria.....	71
Obr. 5.4: Podľa na spodnú stavbu .....	74
Obr. 5.5: Predbežný návrh spoja pomocou čapu .....	75
Obr. 5.6: Spojenie oblúka s pozdĺžnikom vo výpočtovom modeli .....	76
Obr. 5.7 Nesymetrický I nosník spriahnutý s ŽB doskou .....	76

---

---

Obr. 5.8 : Pružne plastický diagram so spevnením [22] .....	77
Obr. 5.9: Ortotropné vlastnosti betónu použité v modeli .....	78
Obr. 5.10: Charakteristika LM1 .....	80
Obr. 5.11: Charakteristika LM3 .....	81
Obr. 5.12: Charakteristika LM4 .....	81
Obr. 5.13: Aplikácia zaťažovacích pruhov pre dopravné zaťaženie .....	82
Obr. 5.14: Zaťaženie dopravou - max. N – oblúk .....	83
Obr. 5.15: Zaťaženie dopravou - min. N – oblúk .....	83
Obr. 5.16: Zaťaženie dopravou - max. My – oblúk .....	83
Obr. 5.17: Zaťaženie dopravou - min. My – oblúk .....	83
Obr. 5.18: Zaťaženie dopravou - max. My – pozdĺžnik .....	84
Obr. 5.19: Zaťaženie dopravou - min. My – pozdĺžnik .....	84
Obr. 5.20: Zaťaženie dopravou - max. N – pozdĺžnik .....	84
Obr. 5.21: Zaťaženie dopravou - min. N – pozdĺžnik .....	84
Obr. 5.22: Zaťaženie dopravou - max. N – priečnik .....	85
Obr. 5.23: Zaťaženie dopravou - min. N – priečnik .....	85
Obr. 5.24: Zaťaženie dopravou - max. My – priečnik .....	85
Obr. 5.25: Zaťaženie dopravou - min. My – priečnik .....	85
Obr. 5.26: Zaťaženie dopravou - max. N – ťahadlo .....	86
Obr. 5.27: Rozdiely teplôt pre oceľobetónovú nosnú konštrukciu .....	86
Obr. 5.28: Deformácie oblúka a pozdĺžnika bez predpätia .....	89
Obr. 5.29: Návrh predpätia a následné deformácie oblúka a pozdĺžnika .....	89
Obr. 5.30 : Obálka najväčších kladných ohybových momentov od systému gr5 .....	92
Obr. 5.31 : Ohybový moment od konkrétneho postavenia zaťažovacieho systému gr5 .....	92
Obr. 5.32: Definovanie časovo závislého materiálu v Midas Civil .....	94

---

---

Obr. 5.33: Vývoj modulu zmršťovania v čase .....	94
Obr. 5.34: Vývoj dotvarovania v čase .....	95
Obr. 5.35: Vývoj modulu pružnosti betónu v čase .....	95
<i>Obr. 5.36: Pilotové založenie mostu.....</i>	<i>96</i>
Obr. 5.37: Montáž oceľovej mostovky na montážne bárky .....	96
Obr. 5.38: Montáž oceľových oblúkov na montážne bárky .....	97
Obr. 5.39: Betonáž spodnej stavby a odstránenie bárok na koncoch pozdĺžnikov .....	97
Obr. 5.40: Betonáž uzatvoreného oblúkového profilu .....	97
Obr. 5.41: Betonáž dosky mostovky .....	98
Obr. 5.42: Odstránenie podpôr oblúka .....	98
Obr. 5.43: Montáž závesov .....	98
Obr. 5.44: Predpínanie závesov .....	99
Obr. 5.45: Odskruženie mosta .....	99
Obr. 5.46: Privarenie oblúkov k pozdĺžnikom .....	99
Obr. 5.47: Zaťaženie ostatným stálím zaťažením a uvedenie do prevádzky .....	100
Obr. 7.1: Max/min návrhové obáľkové hodnoty N (6.10b-02) .....	104
Obr. 7.2 : Max/min návrhové obáľkové hodnoty Vz (6.10a-01) .....	104
Obr. 7.3 : Max/min návrhové obáľkové hodnoty My (6.10b-02) .....	104
Obr. 7.4: Posudzované prierezy oblúkov .....	107
Obr. 7.5: Posudzovaný prierez .....	113
Obr. 7.6: Porovnanie normálových síl na pozdĺžniku .....	116
Obr. 7.7: Porovnanie ohybových momentov na pozdĺžniku .....	116
Obr. 7.8: Porovnanie normálových síl na oblúk .....	117
Obr. 7.9: Porovnanie ohybových momentov na oblúku .....	117
Obr. 8.1 : Najväčšia tlaková napätosť v betónovej časti prierezu .....	119

---

---

Obr. 8.2 : Najmenšia tlaková napätosť v betónovej časti prierezu.....	120
Obr. 8.3 : Najmenšia tlaková napätosť v oceľovej časti prierezu .....	120
Obr. 8.4 : Najväčšia tlaková napätosť v oceľovej časti prierezu.....	120
Obr. 8.5: Globálna deformácia mosta (stále + 25% doprava) - stred.....	122
Obr. 8.6: Globálna deformácia mosta (stále + 25% doprava) - 1/4.....	122
Obr. 8.7: Celková deformácia pozdĺžnika.....	122
Obr. 8.8 : Celková deformácia oblúka .....	123
Obr. 8.9 : Vyhodnotenie modálnej analýzy.....	125
Obr. 8.10 : Dilatačný záver MZ 80 J [25] .....	129
Obr. 9.1 : Detail prípoja závesu k oblúku.....	130
Obr. 9.2 : Dostupný model spoja .....	133
Obr. 9.3 : Siet'ovanie spoja.....	133
Obr. 9.4 : Napätie v kotevnom plechu (variant 1).....	133
Obr. 9.5 : Napätie vo výztuhách (variant 1) .....	134
Obr. 9.6 : Napätie v kotevnom plechu (variant 1).....	134
Obr. 9.7 : Napätie vo výztuhách (variant 1) .....	134
Obr. 9.8 : Napätie na stojine (informatívne).....	135
Obr. 9.9 : Napätie na pásnici (informatívne).....	135
Obr. 9.10 : Detail pripojenia závesu k pozdĺžniku .....	136
Obr. 9.11 : Dostupný model.....	137
Obr. 9.12 : Siet'ovanie posudzovaného spoja.....	137
Obr. 9.13 : Detail výztuh .....	137
Obr. 9.14 : Napätosť v kotevnom plechu (s lokálnou špičkou napätia) .....	138
Obr. 9.15 : Napätosť vo výztuhách ťahadla .....	138
Obr. 9.16 : Napätosť na krycom plechu (informatívne).....	138

---



---

Obr. 9.17 : Napätie v stojine pozdĺžnika (informatívne).....	139
Obr. 9.18 : Napätie na vrchnej pásnici pozdĺžnika (informatívne) .....	139
Obr. 9.19 : Napätie v spodnej pásnici (informatívne) .....	139
Obr. 9.20 : Napätie v stojine a pásnici priečnika (informatívne) .....	140
Obr. 9.21 : Napätia vo výztuže.....	140
Obr. 9.22 : Detail pripojenia oblúka a pozdĺžnika .....	141
Obr. 9.23 : Tupý zvar-spodná pásnica priečnika privarená k zárodku na pozdĺžniku[8].....	146
Obr. 9.24 : Zárodok spodnej pásnice priečnika privarený k spodnej pásnici pozdĺžnika[8]..	147
Obr. 9.25 : Výztuhy privarené k stojinám pozdĺžnika a priečnika, prípoj stojiny priečnika na pozdĺžnik [8].....	147
Obr. 9.26 : Wohlerova krivka [8] .....	147
Obr. 9.27 : Detail posudzovaný na lamelárnu praskavosť .....	150
Obr. 10.1 : Stykovacie spojky LENTON [25].....	151

---

## ZOZNAM TABULIEK

Tab. 2.1: Doporučené hodnoty súčiniteľov pre cestné mosty [13] .....	34
Tab. 2.2: Zaťažovací model LM1 [13] .....	35
Tab. 2.3: Hodnoty kategorizačných súčiniteľov podľa českej národnej prílohy. [1] .....	36
Tab. 2.4: Typy zvláštnych vozidiel [4] .....	37
Tab. 2.5: Opis zvláštnych vozidiel [4] .....	38
Tab. 2.6: Charakteristické hodnoty odstredivých síl [4] .....	39
Tab. 2.7: Zaťažovacie skupiny zaťaženia cestnou dopravou [4] .....	40
Tab. 5.1: Materiály použité v priestorovom modeli .....	71
Tab. 5.2: Zaťažovacie stavy pre vyhodnotenie namáhání vo výpočtovom modeli .....	71
Tab. 5.3: Ostatné stále zaťaženie .....	79
Tab. 5.4: Fázy výstavby generované v Midas Civil .....	96
Tab. 7.1 : Vnútorne sily pre posúdenie .....	113

---

## ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

### Poskytnuté podklady

- [1] Výkresová dokumentacia a statický výpočet: 201-00 Most na vetve križovatky nad R1 v km 0,789

### Normy

- [1] ČSN EN 1990. Eurokód: *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2011. 76 s.
- [2] ČSN EN 1991-1-1. Eurokód 1: *Zatížení – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004. 44 s.
- [3] ČSN EN 1991-1-3. Eurokód 1: *Zatížení – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, duben 2007. 124 s.
- [4] ČSN EN 1991-2 ed. 2, *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou*, ČNI, 2015.
- [5] ČSN EN 1991-1-5, Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí - Část 1-5: Obecná zatížení - Zatížení teplotou*, ČNI, 2005.
- [6] ČSN EN 1993-1-1. Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2006. 96 s.
- [7] ČSN EN 1993-1-8. Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2006. 128 s.
- [8] ČSN EN 1993-1-9, Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-9: Únava*, ČNI, 2006
- [9] ČSN EN 1993-1-10, Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-10: Houževnatost materiálu a vlastnost napříč tloušťkou*, ČNI, 2006
- [10] ČSN EN 1994-2: *Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí: Obecná pravidla a pravidla pro mosty*, Praha, ČNI, 2007
- [11] ČSN 73 6110: *Projektování místních komunikací*, Praha, ČNI, 2006
- [12] ČSN 73 6201: *Projektování mostních objektů*, Praha, ČNI, 2008

---

### Literatúra a odborné časopisy

- [13] KVOČÁK, Vincent, Josef VIČAN, Jozef GOCÁL, Jaroslav ODROBIŇÁK a Richard HLINKA. Navrhovanie oceľových mostov podľa európskych noriem. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2013. ISBN 978-80-553-1614-7.
- [14] ROTTER, Tomáš a Jiří STUDNIČKA. Ocelové konstrukce 30: ocelové mosty. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 80-01-01902-0.
- [15] ČAMBULA, Jaroslav. Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů. Praha: Pro Ministerstvo dopravy a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87093-90-0.
- [16] STUDNIČKA, Jiří. Ocelobetonové konstrukce 20. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02598-5.
- [17] ROTTER, Tomáš a Jiří STUDNIČKA. Navrhování ocelových a ocelobetonových mostů podle evropských norem. Ostrava: Česká asociace ocelových konstrukcí, 2010. ISBN 978-80-904535-1-7.
- [18] STUDNIČKA, Jiří. *Ocelové konstrukce 1*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04800-9.
- [19] RYJÁČEK, Pavel. Ocelové mosty: cvičení. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05672-1.
- [20] STUDNIČKA, Jiří. Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1994-1-1. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009. ISBN 978-80-87093-85-6.
- [21] Karmazínová, Marcela. Kovové mosty I – M04 I: Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. Vysoké učení technické v Brně, 2006
- [22] KYSELA, Miroslav. Návrh železničního mostu s horní spřaženou ocelobetonovou mostovkou. Ostrava, 2017. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 171 s.

---

### Internetové zdroje

- [23] HORNÍČEK, Ing. Zdeňek a Ing. Tomáš ROMPORTL. Obloukový most na rychlostní cestě R1 u Nitry [online]. 15.8.2011 [cit. 2018-09-17]. Dostupné z: <https://lnk.sk/CMVZ>
- [24] Macalloy [online]. 2018 [cit. 2018-09-17]. Dostupné z: <https://www.macalloy.com/>
- [25] Wikipedia [online]. 2018 [cit. 2018-09-17]. Dostupné z: <https://www.wikipedia.org/>

## ZOZNAM PRÍLOH

**Príloha č.1** – Prierezové charakteristiky použitých prierezov

**Príloha č.2** – Detailný popis postupu výstavby

**Príloha č.3** – Charakteristické hodnoty reakcii na montážne bárky

**Príloha č.4** – Ohybové namáhanie (My) konštrukcie počas výstavby

**Príloha č.5** – Zaťažovacie stavy použité pre stabilitnú analýzu

**Príloha č.6** – Tvorba kombinácií

**Príloha č.7** – Prehľad vnútorných síl na jednotlivé prvky ocelej NK

**Príloha č.8** – Statické posúdenie pozdĺžnika  $x = 0\text{m}$

**Príloha č.9** – Statické posúdenie pozdĺžnika  $x = 15,2\text{m}$

**Príloha č.10** – Statické posúdenie oblúka – uzol 534

**Príloha č.11** – Statické posúdenie oblúka – uzol 573

**Príloha č.12** – Statické posúdenie oblúka – uzol 605

**Príloha č.13** – Statické posúdenie oblúka – uzol 655

**Príloha č.14** – Statické posúdenie oblúka – uzol 665

**Príloha č.15** – Statické posúdenie priečnika

## VÝKRESY

**Výkres č.1** – Výkres pôdorysu

**Výkres č.2** – Výkres pozdĺžneho rezu

**Výkres č.3** – Výkres priečných rezov

**Výkres č.4** – Kotvenie závesu do oblúka a typické detaily

**Výkres č.5** – Spoj pozdĺžnika so závesom a priečnikom

**Výkres č.6** – Spoj oblúka s pozdĺžnikom

**Výkres č.7** – Výrobný výkres vybraného úseku konštrukcie

**Výkres č.8** – Výkres postupu výstavby